HOF- BIBLIOTHEK
46.165-B

Sa. 69. R. 19.
I.

Digitized by Google

Digitized by Google

46165-B.

Digitized by Google

Digitized by Google

Bericht

über die

neueſten Fortſchritte

der

Phyſik.

Digitized by Google

Digitized by Google

Bericht

über die

neuesten Fortschritte

der

Physik.

In

ihrem Zusammenhange dargestellt

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

In zwei Bänden.

Erster Band.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1849.

Digitized by Google

Digitized by Google

Vorrede.

Wenn ich mit einem Berichte über die neueren Fortschritte der Physik auftrete, während unsere Literatur bereits mehrere Repertorien und Jahresberichte zählt, an welchen sich Männer betheiligen, welche sich der allgemeinsten Anerkennung erfreuen, so läßt sich ein solches Unternehmen nur dadurch rechtfertigen, daß mein Bericht eine wesentlich andere Tendenz verfolgt als jene. In der That ist es die Aufgabe jener Werke, dem Leser in kurzer Uebersicht alle die Arbeiten und Untersuchungen vorzulegen, welche von Jahr zu Jahr auf dem fleißig bebauten Felde der physikalischen Forschung geliefert werden, während mein Streben dahin geht, nicht allein darüber zu berichten, was in der neueren Zeit geliefert worden ist, sondern auch diese Fortschritte durch eine entsprechende Darstellung einem größeren Kreise von Freunden der Wissenschaft zugänglich zu machen.

Um diesen Zweck zu erreichen, mußte ich zunächst den Plan aufgeben, von dem ich ursprünglich ausgegangen war, nämlich den Plan, einen physikalischen Jahresbericht auszuarbeiten. Nur dann ist es möglich, die einzelnen Materien in gehöriger Abrundung darzustellen, wenn man sich nicht auf die Arbeiten eines Jahres beschränkt, sondern wenn man die entsprechenden Untersuchungen eines größeren Zeitraumes zusammenstellt. Ich dehnte dehalb meinen Bericht ungefähr über das letzte Decennium aus. Der vorliegende

Band beſpricht nur die Fortſchritte der Elektricitätslehre, welche ſich in der letzten Zeit ungleich größerer Erweiterungen zu erfreuen hatte, als die übrigen Zweige der Phyſik, die ich in ähnlicher Weiſe in einem folgenden Bande zu behandeln gedenke. Bis zur Vollendung dieſes zweiten Bandes iſt dann ohne Zweifel wieder Material genug vorhanden, um den Cyclus von neuem beginnen zu können, wenn es mir im Uebrigen die Umſtände vergönnen.

Es ſind mehrere Jahre über der Ausarbeitung des vorliegenden erſten Bandes dahingegangen, die einzelnen Kapitel deſſelben ſind alſo keineswegs gleichzeitig, ſie ſtellen nicht den gleichzeitigen Zuſtand der entſprechenden Theile der Elektricitätslehre dar. Ich habe es nicht für zweckmäßig gehalten, dies durch Nachträge zu den früheren Kapiteln auszugleichen, zum Theil, weil dadurch die Vollendung dieſes ohnehin ſchon voluminöſen Bandes abermals eine nicht unbedeutende Verzögerung erlitten haben würde; dann aber auch deshalb, weil ſolche Nachträge zu ſehr den aphoriſtiſchen Charakter tragen würden, welchen ich bis dahin gerade zu vermeiden ſuchte. Es ſchien mir zweckmäßiger, die Beſprechung der meiſten Forſchungen, welche mir erſt nach dem Drucke der entſprechenden Kapitel dieſes Buches bekannt werden für den nächſten Bericht über die Fortſchritte der Elektricitätslehre aufzuſparen.

Die wenigen Nachträge, welche ſich am Schluſſe dieſes Bandes befinden, berichten nur über Gegenſtände, welche zur Zeit, in welcher die entſprechenden Kapitel abgefaßt wurden, ſchon publicirt waren, welche aber gehörigen Orts zu beſprechen überſehen worden waren.

Was die Form betrifft, ſo habe ich die phyſikaliſchen Errungenſchaften des bezeichneten Zeitraums ungefähr in ſolcher Weiſe zu entwickeln und darzuſtellen geſucht, als ob ich ſie für die entſprechenden Kapitel eines mehr als gewöhnlich ausführlichen, aber deſſen ungeachtet elementar gehaltenen Lehrbuchs der Phyſik zu bearbeiten gehabt hätte.

Daraus ergiebt ſich nun auch, daß mein Bericht unmöglich auf diejenige Vollſtändigkeit Anſpruch machen kann, welche für die übrigen Repertorien und Jahresberichte weſentliche Aufgabe iſt. Dieſe haben in gedrängter Kürze eine möglichſt vollſtändige Ueber-

sicht aller entsprechenden Arbeiten zu geben, während ich mit größerer Ausführlichkeit, aber nur das Wichtigere besprechen muß.

Hiermit will ich nun nicht gesagt haben, daß ich Alles Wichtigere wirklich besprochen habe, daß Alles, worüber ich schweige, damit als wissenschaftlich werthlos bezeichnet sein soll. — Fern sey mir eine solche Anmaßung. — Wohl mag es sein, daß mir bei den geringen literarischen Hülfsmitteln, welche unsere Anstalt bietet, bei meiner Entfernung von naturwissenschaftlichen Centralpunkten Manches, namentlich von ausländischen Arbeiten unbekannt blieb, was der Erwähnung werth gewesen wäre, wohl mag es auch sein, daß ich von deutschen Untersuchungen schweige, welche den Keim zu bedeutenden Forschungen in sich tragen, weil sie mir bei dem gegenwärtigen Zustand ihrer Entwickelung noch nicht recht zur Besprechung an dieser Stelle gereift oder geeignet erschienen. Für meine Zwecke erwächst jedoch daraus um so weniger ein wesentlicher Nachtheil, als diese in der Folge zu entschiedener physikalischer Bedeutung sich entwickelnden Anfänge gerade in einem späteren Berichte die passendste Stellung finden werden.

Es ist in Deutschland wenigstens allgemein anerkannt, daß die Lehre vom Galvanismus erst durch das Ohmische Gesetz eine festere Basis erlangt hat und daß nur mit Hülfe desselben eine präcisere Methode in die galvanischen Forschungen eingeführt werden konnte. Erst dann aber wird die Wissenschaft den vollen Gewinn aus diesem Gesetz zu ziehen im Stande seyn, wenn allgemein bestimmte Einheiten für Stromstärke, Leitungswiderstand und elektromotorische Kraft in Anwendung gebracht werden; erst wenn die numerische Bestimmung der Constanten galvanischer Elektromotoren allgemein an die Stelle der jetzt noch üblichen vagen Angaben*)

*) Wie nothwendig es ist, daß in dieser Beziehung endlich klarere Vorstellungen verbreitet werden, zeigen uns recht auffallend die »Elemente der Elektrometallurgie von Alfred Smee,« von deren dritter Auflage kürzlich eine deutsche Uebersetzung erschienen ist (Leipzig, bei Ambr. Abel). Auf das Ohmische Gesetz hält Smee nicht viel, er sagt: »In dieser Formel »fehlen die Quantität und die Intensität und sie paßt einzig auf die Con»tacttheorie keineswegs auf die chemische Theorie der Säule, welche man »jetzt allgemein in England angenommen hat.« Man kann sich denken, in welchem Chaos sich Smee bei Vergleichung verschiedener galvanischer Combinationen und

getreten seyn wird, so daß man mit Bestimmtheit den Effect berechnen kann, den eine gegebene galvanische Combination unter bestimmten Verhältnissen geben kann und muß, wird auch die Technik mit größerer Sicherheit galvanische Ströme in Anwendung zu bringen im Stande sein. Ich habe deshalb auf diesen Punkt vorzugsweise meine Aufmerksamkeit gerichtet und habe die Anwendung der Jakobi'schen Einheiten, welche mir für den allgemeinen Gebrauch die passendsten schienen, in einer Ausdehnung durchzuführen versucht, wie es bisher noch nicht geschehen ist.

Seit das erste Heft dieses Berichtes erschienen ist, sind bereits drei Jahre verflossen. Bei dem besten Willen war es mir nicht möglich, neben meinen andern Berufsgeschäften das Erscheinen dieses Werkes rascher zu fördern. Um noch größere Verzögerung zu verhindern, sah ich mich nach fremder Hülfe um. Herr Professor Frick übernahm es, die praktischen Anwendungen der Elektrolyse, die Thermoelektricität und das elektrische Chronoscop zu bearbeiten. Das Kapitel über die elektrische Telegraphie rührt von Herrn Professor Schellen her. Ich fühle mich diesen Herren für die mir geleistete Unterstützung sehr zu Dank verpflichtet.

Freiburg im December 1851.

J. Müller.

---

ihrer Wirkungen verlieren muß, da er die einzig sichere Grundlage einer solchen Vergleichung von der Hand wieß. Folgendes Beispiel mag genügen, um den Standpunkt zu charakterisiren, welchen Smee in dieser Beziehung einnimmt. Er sagt: (Seite 42 der Uebersetzung) »Vielleicht kann ich annähernd das Verhältniß der Kosten angeben, welche die drei Batterieen in »ihrer Wirksamkeit nöthig machen. In meiner stellen sich die Kosten = »Zink + Säure + locale Wirkung. In der constanten Batterie sind sie »= Zink + Säure + schwefelsaures Kupfer + viel locale Wirkung. Jede »Zelle derselben würde um eine gewisse Wirkung zu thun etwa zweimal so »viel kosten als die meinige. In der Grove'schen Batterie haben wir die »Kosten = Zink + Säure + Salpetersäure die durch den Wasserstoff zerstört wird + Salpetersäure, welche sich mit dem Ammoniak verbindet, das »bei der Thätigkeit der Batterie gebildet wird + übermäßigen Verbrauch »von Zink, = wenigstens dreimal so groß, als die welche die meinige erfordert.« [?]

Alphabetiſches Inhaltsverzeichniß.

A.

	Seite
Abbildungen, elektriſche	181
Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität	161
» freiwillige, aſtatiſcher Nadeln	782
» aſtatiſcher Nadeln durch den Multiplicatordraht	784
Abria, mechaniſche Wirkungen des Entladungsſchlages	88
Abſtoßung an der inneren Belegung der Batterie	91
Aetzen, durch Galvanismus	466
Agometer	299
Alexander, Waſſerzerſetzung durch die Thermoſäule	848
Andrieſſen, Elektroſkop	20
Anhäufung von Flüſſigkeiten am negativen Pol	433
Anker, Einfluß derſelben auf die Tragkraft der Magnete	488
Armſtrong, Elektricitätserregung durch Waſſerdampf	5
» Elektrolyſe durch Hydroelektricität	11
Aſtatiſche Nadeln, freiwillige Ablenkung derſelben	782
Atmoſphäriſche Elektricität, Apparat zur Beobachtung derſelben	30

B.

Bagration, galvaniſche Kette	279
Bakewell, elektrochemiſcher Telegraph	609
Bain, Nadeltelegraph	569
Bäuſche	790
Beleuchtung, galvaniſche	418
Becquerel, Theorie der Zitterfiſche	779
» Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderſtand der Metalle	309
» Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten	321
» Unterſuchungen über Elektrolyſe	439
Berichtigungsſtab	787
Bertin, Unterſuchungen über magnetiſche Circularpolariſation	720
Bilder, elektrolytiſche	184
Bindung, elektriſche	33
Blitzableiter, für Telegraphen	621
Blitzplatten	623
Botto, Waſſerzerſetzung durch die Thermoſäule	848
Buff, Unterſuchungen über galvaniſche Polariſation	333
» Beſtimmung des Leitungswiderſtandes der Metalle	305

Seite
Büſchel, elektriſche 193
» in verſchiedenen Gaſen 195
» in dichteren Mitteln 196
» Verſchiedenheit bei poſitiver und negativer Entladung . . . 196
Bunſen'ſche Kette 285

C.

Caſſelmann, Leuchtkraft des galvaniſchen Flammenbogens 409
Callan, Zink-Bleikette 287
Chemiſche Wirkungen des Stromes 425
Chronoſkop, elektriſches 854
Collodium 222
Combination, zweckmäßigſte, Volta'ſcher Elemente 288
Condenſator, Theorie deſſelben 71
Conſtanten, die, der Volta'ſchen Kette 240
» indirecte Beſtimmungen derſelben 265

D.

Daniell'ſche Kette 282
Daniell, Unterſuchungen über Elektrolyſe 425
Dal Negro, elektromagnetiſche Kraftmaſchine 539
Dauer momentaner Ströme 650
De La Rive, über den galvaniſchen Flammenbogen 416
» » » über galvaniſche Töne 634
Dellmann, Elektroſkop 26
Despretz, Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Flammenbogen . 414
Diamagnetismus 714
» Theorie deſſelben 736
» der Flamme 742
» der Gaſe 745
Diamagnetiſche Körper 730
Differential-Widerſtandsmeſſer 301
Donné und Foucault photo-elektriſches Mikroſkop 420
Dove, Ladungsſtrom 167
» Unterſuchungen über inducirte Ströme 688
Drehung, elektromagnetiſche, der Polariſationsebene 714
Drehwage 22
Drucktelegraphen 590
Dub, Einfluß der Anker auf die Tragkraft der Elektromagnete . . . 489
Du Bois-Raymond, Unterſuchungen über thieriſche Elektricität . . . 768
» » » Verſuche über den Muskelſtrom 801
» » » Verſuche über den Nervenſtrom 828
» » » Multiplicator deſſelben 781
Dynamometer, galvaniſches 652

E.

Eblund, Verſuche über den Extraſtrom 696
Einheit der Stromſtärke 240
Eiſen, Paſſivität deſſelben 360
Eiſenlohr, Inductionsſpirale für Reibungselektricität 144
Eiweißhäutchen 791
Elektricität des Maſchinenpapiers 1
» verſchiedene, des Glaſes 3

	Seite
Elektricitätserregung durch ausströmenden Wasserdampf	5
» durch ausströmende flüssige Kohlensäure	10
» durch Vegetation	16
Elektrische Ströme, Classification derselben	699
Elektrisirmaschine	16
Elektrolyse durch Hydroelektricität	11
» Daniell's Untersuchungen über	425
» Becquerel's Untersuchungen über	439
» organischer Körper	445
» polybasischer Salze	434
Elektrodynamik	649
» Zusammenhang ihrer Gesetze mit denen der Elektrostatik	664
Elektromagnete, Tragkraft derselben	485
» Tragkraft bei zunehmender Entfernung des Ankers	487
Elektromagnetische Apparate	684
Elektromagnetische Triebkraft	538
» » Kosten derselben	547
Elektromagnetismus, Gesetze desselben nach Lenz und Jakobi	482
» » » » Müller	494
Elektromotorische Kraft	260
Elektrophor von Gutta-Percha	221
Elektroskop	20
» nach dem Princip der Drehwage	26
Elektrotonischer Zustand der Nerven	831
Entladung	98
» dunkle	199
» fortführende	200
Erwärmung im Schließungsbogen der Batterie	102
Erwärmungsvermögen der Metalle	130
Extrastrom, Einfluß der Eisendrahtbündel auf denselben	686
» für Reibungselektricität	694

F.

Faraday, Gesetze der Elektricitätsentwickelung durch Wasserdampf	7
» Untersuchungen über Funken und Lichtbüschel	186
» Untersuchungen über gebundene Elektricität	55
» Vertheilung in krummen Linien	62
» Theorie der Vertheilung	64
» Induction durch Erdmagnetismus	708
» elektromagnetische Drehung der Polarisationsebne	714
Farbenringe, galvanische	467
Fechner, elektrische Vertheilung und Bindung	35
» Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen	789
Figuren, elektrische	111
Fizeau und Foucault, Lichtstärke des galvanischen Flammenbogens	411
Flammen, elektrische Wirkungen derselben	80
Flammenbogen, galvanischer, Leuchtkraft desselben	409
Flüssigkeiten, Verhalten derselben gegen starke Magnetpole	747
Froschschenkel, stromprüfender	793
Froschstrom	776
» elektromagnetische Wirkungen desselben	776
Frick, über die Elias'sche Magnetisirungsmethode	479
Funken, galvanische	422
» elektrische, in verschiedenen Gasen	192
Funkenmikrometer	94

G.

	Seite
Galvanische Polarisation	315
» » Abhängigkeit derselben von der Stromstärke	326
» » numerische Bestimmung derselben	328
» » an platinirten Platinplatten	331
» » Verminderung derselben durch Erwärmung der Flüssigkeit	335
» » Ursache derselben	336
Galvanisches Licht, Benutzung desselben zur Beleuchtung	415
Galvanoplastik	448
Garnier, galvanische Kette	279
Gasbatterie	345
» Theorie derselben	347
Gassiot, galvanischer Funken	422
» Wasserbatterie	422
Gauß und Weber, Nadeltelegraph	562
Gebundene Elektricität, Knochenhauer's Gesetz	45
» » verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung	50
» » Faraday's Untersuchungen	55
Gegenstrom	694
Geruch, elektrischer	212
Geschwindigkeit der Elektricität	861
Glimmentladung	198
Glühen von Metalldrähten durch den Entladungsschlag	133
» durch den galvanischen Strom	384
» galvanisches, in verschiedenen Gasen	397
Grove'sche Kette	283
Grove, Gasbatterie	345
» galvanisches Glühen in verschiedenen Gasen	395
» Einwirkung des glühenden Platindrahtes auf verschiedene Gase	397
» Zerlegung des Wasserdampfes	400
Grüel, Elektrisirmaschine	221
Gutta-Percha, Elektricität desselben	2

H.

Häcker, Tragkraft der Stahlmagnete	473
» Schwingungsdauer von Magnetstäben	476
Hankel, elektrisches Papier	1
» Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten	324
» Magnetisirung von Stahlnadeln durch den Entladungsschlag	167
» Theorie des Diamagnetismus	741
Hauchfiguren, elektrische	179
Hauchbilder, elektrische	182
Heinß, verschiedene Elektricität des Glases	3
Henrici, über thermoelektrische Ströme	849
Henry's Untersuchungen über Induction	704
Horsford, Leitungswiderstand der Flüssigkeiten	319
Hydroelektricität, Gesetze derselben	7
Hydroelektrisirmaschine	10
Hyperoxydketten	343
Hipp, elektrisches Chronoskop	859

J.

	Seite
Jakobi, Einheit der Stromstärke	240
» Bestimmung der Constanten Volta'scher Ketten	266
» elektromagnetische Kraftmaschinen	539
Induction	704
» Theorie derselben	670
» durch Erdmagnetismus	708
Inductionsinclinatorium	710
Inductionsströme höherer Ordnung	706
Influenzelektricität	71
Jolly, Elektricitätserregung durch ausströmende Kohlensäure	10
Joule, galvanische Wärmeerregung	375
Joule und Scoresby, Theorie der elektromagnetischen Motoren	555
Iso-elektrische Kurven	813

K.

Karsten, elektrische Abbildungen	181
Knochenhauer, Gesetze der gebundenen Elektricität	45
» elektrische Vertheilung und Bindung	35
» Arbeiten über den Nebenstrom	162
Kohlrausch, Elektroskop	29
» elektromotorische Kraft Volta'scher Ketten ist der Spannung der offnen Kette proportional	262
Kolbe, Oxydation durch den am positiven Pol ausgeschiedenen Sauerstoff	442
» Elektrolyse organischer Körper	445
Koppinsky, galvanische Kette	279
Kraftmaschine, elektromagnetische	538
» Construction derselben	548
» Theorie derselben	552
Kramer, Abnahme der Tragkraft der Elektromagnete bei wachsender Entfernung der Pole	487

L.

Ladungsstrom der elektrischen Batterie	166
Leitung für elektrische Telegraphen	612
Leitungswiderstand der Metalle	305
» Abhängigkeit desselben von der Wärme	308
» des menschlichen Körpers	311
» der Flüssigkeiten	317
» Einfluß der Temperatur auf denselben	324
Lenz, Einfluß der Temperatur auf den Leitungswiderstand der Metalle	308
» Gesetze der galvanischen Wärmeentwickelung	376
Lenz und Jakobi, Gesetze des Elektromagnetismus	482
Lichtbogen, Volta'scher	408
» Einwirkung des Magnetismus auf denselben	415
Lichterscheinung am Inductionsapparat	424
Linari und Palmieri, Induction durch den Erdmagnetismus	709
Logeman und Wetteren, Stahlmagnete	475
Luftelektricität, Quelle derselben unbekannt	13
Luftthermometer, elektrisches	113
» Theorie desselben	116

M.

Maaß für die Ladung der Batterie	89

Seite
Maaßbestimmungen, elektrodynamische 650
Magnetisirung durch den Entladungsschlag 145
» durch den Nebenstrom 146
» von Stahlstäben 479
Magnetischer Zustand aller Körper 729
Magneto-elektrischer Rotationsapparat 676
Matteucci, Untersuchungen über thierische Elektricität 777
Masson, Untersuchungen über elektrische Photometrie 204
Maximum, absolutes magnetisches 497, 511
Mechanische Wirkungen des Entladungsschlages 88
Melloni, Anwendung des Berichtigungsstabes 787
Mikroskop, photoelektrisches 420
Moment, magnetisches, eines Kreisstromes 649
Momentane Ströme, Dauer derselben 676
Morse's Drucktelegraph 592
Multiplicator für thierisch-elektrische Versuche 781
Munk af Rosenschöld, über Vertheilung und Bindung 69
Munke, Anfertigung der Thermosäulen 847
Müller, über die Tragkraft der Elektromagnete 527
» Versuche über galvanisches Glühen 384
» über gebundene Elektricität 47
» Gesetze des Elektromagnetismus 497
Müller (aus Halle), Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten von der Temperatur 310
Muskelstrom 801

N.

Nadeltelegraph, von Gauß und Weber 562
» englischer 563
Nebenstrom 142
» Abnahme desselben bei wachsender Entfernung von der Hauptspirale 150
» Einfluß benachbarter Leiter auf denselben 150
» Richtung desselben 159
Neef, Lichterscheinung am Inductionsapparat 414
Nervenstrom 828
Niederschläge an den Scheidewänden 431
Nobili, Farbenringe 467
» Versuche über den Froschstrom 777
» Erklärung der freiwilligen Ablenkung astatischer Nadeln . . . 782
» thermo-elektrische Säulen 845

O.

Oersted, Elektroskop 28
Oxydation durch den am positiven Pole ausgeschiedenen Sauerstoff . . 442
Ozon 213

P.

Page, galvanische Töne 633
Papier, elektrisches 1
Passivität des Eisens 360
» anderer Metalle 383
» Theorie derselben 380
Petrina, elektrische Wirkungen der Flamme 87

Seite

Petrina, Elektroskop 30
» elektrische Vertheilung und Bindung 36
» magneto-elektrische Rotationsmaschine 676
Phosphor, Leuchten desselben durch Ozon 219
Physiologisches Rheoskop 793
Plücker, Diamagnetismus der Gase und Flammen 742
» Verhalten der Flüssigkeiten gegen starke Magnetpole 747
Poggendorff, elektromagnetische Rotation des Quecksilbers 644
» Bestimmung der elektromotorischen Kraft in constanten Ketten 272
» Wippe 351
» thermoelektrische Ketten 847
Polarisation, galvanische 312
» Ursache derselben 336
» numerische Bestimmung derselben 328
» flüssiger Körper 341
Polarisationsebne, elektromagnetische Drehung derselben 714
Pouillet, Einheit der Stromstärke 240
» elektrisches Chronoskop 858
» Leitungswiderstand des menschlichen Körpers 312
Ptschelnikoff, Leitungswiderstand des menschlichen Körpers 311
Pyroelektricität 852

R.

Rees, van, elektrische Eigenschaften der Flamme 85
» » Vertheilung des freien Magnetismus in Stahlmagneten. . 519
Reich, durch Verdunstung keine Elektricität erzeugt 14
» diamagnetische Versuche 736
Rieß, elektrische Eigenschaften der Flamme 80
» Schlagweite der elektrischen Batterie 94
» Maaß für die Ladung der Batterie 89
» Erwärmung durch den Entladungsschlag 102
» elektrisches Luftthermometer 113
» Glühen u. Schmelzen von Metalldrähten durch d. Entladungsschlag 133
» Versuche über den Nebenstrom 142
» elektrische Zeichnungen 175
» elektrische Staubfiguren 175
» elektrische Staubbilder 178
» elektrische Hauchfiguren 179
» elektrische Hauchbilder 182
» elektrolytische Bilder 184
» Verbesserungen an der Drehwage 22
» elektrische Vertheilung 34
» Influenzelektricität 71
» Theorie des Condensators 71
Rheoskop, physiologisches 793
Rheostat 299
Roberts galvanisches Felsensprengen 405
Romershausen, Elektroskop 27
» Apparat zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität 30
Rotation, elektromagnetische, des Quecksilbers 644

S.

Schlagweite der elektrischen Batterie 94
» ungleiche bei positiver und negativer Ladung 190

	Seite
Schönbein, elektrisches Papier	1
» Ursache der galvanischen Polarisation	336
» Theorie der galvanischen Polarisation	341
» Passivität des Eisens	360
» chemische Theorie des Galvanismus	230
» elektrischer Geruch	212
Schlitzsäule	846
Schmelzen, von Metalldrähten durch den Entladungsschlag	133
Schraubklemmen	254
Schröder, Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen	789
Schwingungsdauer von Magnetstäben	476
Secundäre Zuckung	822
Selen, elektrischer Isolator	5
Siemens und Halske, Zeigertelegraph	579
Sinsteden, Spannungserscheinungen an Inductionsspiralen	700
Smee'sche Kette	280
Spannungserscheinungen an Inductionsspiralen	700
Specifisches Leitungsvermögen der Metalle	306
Sprengen der Felsen durch Galvanismus	404
Staubfiguren, elektrische	175
Staubbilder, elektrische	178
Steinheil, Telegraph	563
» Erdleitung	563
Stöhrer, magnetoelektrischer Rotationsapparat	676
» Doppelstiftapparat	606
Strahlensäule	845
Stromeinheiten, Vergleichung derselben	243
Stromstärke, Einheiten derselben	240
» Bestimmungen derselben nach chemischem Maaß	247
Strömungskurven	813

T.

Telegraphie, elektrische	557
Telegraph, elektro chemischer	609
Tetanisiren	819
Thermoelektricität	845
Thermosäule, Wirkungen derselben	847
Thierische Elektricität	768
» » Geschichte derselben	769
Töne, galvanische	633
Tragkraft der Stahlmagnete	473
» der Elektromagnete	527
Triebkraft, elektromagnetische	538

U.

Ueberführung der Basen	437
Unipolare Induction	865
Unipolare Inductionszuckungen	800
Uhren, galvanische	625

V.

Vergleichung, verschiedener galvanischer Ketten	298
Vergoldung und Versilberung, galvanische	456
Vertheilung der Elektricität	33

	Seite
Vertheilung in krummen Linien	62
» des freien Magnetismus in Stahlmagneten	519
Vertheilungsvermögen, elektrisches	56
Vorsselman de Heer, über elektromagnetische Triebkraft	538
» » » Verminderung der galvanischen Polarisation durch Erwärmung der Flüssigkeiten	335
» » » Wärmeentwickelung durch den Entladungsschlag	132

W.

Watkins Magnetisirung und Funken durch die Thermosäule	848
Wasserbatterie	422
Wasserdampf, Elektricitätsentwickelung durch Ausströmen desselben	5
Wärmeentwickelung durch den Entladungsschlag	102
» durch den Nebenstrom	146
» durch den galvanischen Strom	375
» durch den Flammenbogen	413
Wagner, elektromagnetische Kraftmaschine	543
Weber, Theorie des Diamagnetismus	736
» Inductionsinclinatorium	710
» Zusammenhang des elektrodynamischen und des elektrostatischen Grundgesetzes	664
» Theorie der Induction	670
» Bestimmung der Dauer momentaner Ströme	650
» elektrodynamische Maaßbestimmungen	650
» Einheit der Stromstärke	240
» Unipolare Induction	865
Wecker, elektromagnetischer	607
Weekes, galvanische Kette	280
Wertheim, galvanische Töne	638
Wheatstone, Bestimmung der Constanten Volta'schen Ketten	267
» Differentialwiderstandsmesser	301
» elektrisches Chronoskop	854
» Nadeltelegraph	563
Widerstand, Volta'scher Elemente	252
Winter, Elektrisirmaschine	17
Wippe	351
Wollaston'sche Kette	276

Z.

Zeigertelegraph	573
Zeichnungen, elektrische	175
Zink-Eisenkette	286
Zink-Bleikette	287
Zuckungen, Gesetz derselben	794
» secundäre	822
» höherer Ordnung	824
Zuleitungsgefäße	789

Digitized by Google

Reibungselektricität.

Digitized by Google

Erſter Abſchnitt.

Elektriſches Verhalten verſchiedener Körper, Elektriſirmaſchinen und Elektrometer.

Elektricität des Maſchinenpapieres. Daß Papier durch Reiben 1
elektriſch gemacht werden kann, iſt längſt bekannt; auch die Elektricitäts-
erregung bei der Fabrikation des Maſchinenpapiers iſt keine neue Erſchei-
nung, und es mag wohl wenig Beſitzer von Papierfabriken geben, die ſie
nicht beobachtet hätten, jedoch wird dieſe Erſcheinung zum erſten Male
von Hankel (P. A. LV, 477) beſchrieben.

An einer jeden Papiermaſchine zeigt ſich das Papier, nachdem es die letzten Preßwalzen verlaſſen hat, ſtark negativ elektriſch. Nähert man dem Papierbande zwiſchen den Satinirwalzen und dem Haspel, auf welchem es aufgewunden wird, den Finger, ſo fährt aus demſelben ein Strahlenbüſchel gegen das Papier hin; eine Leidener Flaſche läßt ſich leicht laden. Auch das auf den Haspel aufgewundene Papier zeigt ſich elektriſch, namentlich wenn ſchon viel Papier auf den Haspel aufgewunden iſt. Wird das Papier von dem Haspel abgeſchnitten, und ſchlägt man die langen Papierbänder auseinander, ſo fahren ſehr ſtarke blitzende Funken dazwiſchen hin.

Es entſteht dieſe Elektricität offenbar nur durch die Erwärmung des Papiers und des Zuſammenpreſſens deſſelben mittelſt Walzen. Eine (gleitende) Reibung kann nicht ſtattfinden, weil die Umfangsgeſchwindigkeit ſämmtlicher Walzen genau gleich iſt.

Schönbein's elektriſches Papier. Durch ein der Bereitung der 2
Schießbaumwolle ähnliches Verfahren iſt es Herrn Schönbein gelun-
gen, das Papier in eine vollkommen durchſichtige Subſtanz zu verwan-
deln, welche durch das geringſte Reiben ſchon außerordentlich ſtark elektriſch
wird (P. A. LXVIII, 159) und welches er zur Conſtruction einer Elektri-
ſirmaſchine anwendete.

Eine solche Substanz muß dem experimentirenden Physiker im höchsten Grade willkommen seyn; um so mehr ist es zu bedauern, daß die Herren Schönbein und Böttger bisher noch nichts weiter publicirt haben, obgleich in Berlin elektrisches Papier zum Verkauf ausgeboten wird. — In sehr vielen Fällen läßt sich das elektrische Papier durch dünne Blätter von Gutta-Percha ersetzen.

3 **Elektricität der Gutta-Percha.** Gutta-Percha ist ein so guter Isolator und wird durch Reiben so stark elektrisch, daß diese Eigenschaften des jetzt so vielfach angewandten Stoffes nicht lange verborgen bleiben konnten. Schon gegen Ende des letzten Winters machte mich Dr. Hasenclever aus Aachen in dieser Beziehung auf die Gutta-Percha aufmerksam, und ich hatte sie schon zur Construction eines Elektrophors benutzt, als ich im Märzheft des philosoph. Magazine einen Aufsatz von Faraday über diesen Gegenstand fand, von dem im Maiheft von Poggendorff's Annalen eine Uebersetzung erschien (P. A. LXXIV, 154). Faraday sagt über die elektrischen und isolirenden Eigenschaften der Gutta-Percha im Wesentlichen Folgendes.

Ein gutes Stück Gutta-Percha isolirt ebenso vollkommen, wie ein gleiches Stück Schellack, es mag die Form einer Tafel, eines Stabes oder eines Fadens besitzen; allein da sie zäh und biegsam in der Kälte und weich in der Wärme ist, so thut sie in vielen Fällen bessere Dienste als der spröde Schellack. In Form von Streifen und Schnüren bildet sie ein vortrefflich isolirendes Aufhängemittel, und in Form von Platten liefert sie die zweckmäßigsten isolirenden Unterlagen.

Durch Reiben wird die Gutta-Percha stark negativ elektrisch. Einige Gutta-Percha wird in sehr dünnen Tafeln, kaum dicker als ein Papierblatt, verkauft; wenn ein Streifen von dieser zwischen den Fingern hindurchgezogen wird, so ist sie so elektrisch, daß sie an der Hand haftet und Papierstückchen anzieht.

Eine Tafel Gutta-Percha liefert ein vortreffliches Elektrophor.

Nicht alle Gutta-Percha ist ein so guter Isolator. Wenn ein gut isolirendes Stück durchgeschnitten wird, so hat die Schnittfläche einen Harzglanz und eine compacte Beschaffenheit, während sie bei einem schlecht isolirenden Stück nicht denselben Grad von Glanz besitzt, sich weniger durchscheinend erweist und nahe das Ansehn einer erstarrten trüben Lösung besitzt.

Wenn man ein leitendes Stück in einem Strome heißer Luft, oder in einem Glase über einer niedrigen Gasflamme erwärmt, ausstreckt, faltet und einige Zeit zwischen den Fingern knetet, wie wenn man die darin enthaltene Feuchtigkeit ausdrücken wollte, so wird es ein eben so guter Isolator wie das beste.

Ein gut isolirendes Stück Gutta-Percha vier Tage lang in Wasser eingeweicht, erhält durch zwölfstündiges Liegen an der Luft sein Isolationsvermögen wieder.

Ein nicht isolirendes Stück wurde durch achttägiges Liegen in einem Trockenschrank sehr verbessert, eine äußere Schicht ward isolirend; an frischen Schnittflächen zeigte sich aber das Innere noch leitend.

Gutta-Percha, einer allmälig bis auf 170 bis 180° C. gesteigerten Temperatur ausgesetzt, gab einen bedeutenden Antheil Wasser aus; nach dem Erkalten isolirte die Masse ebenso gut wie frische Gutta-Percha.

Elektricität des geriebenen Glases. Es ist bekannt, daß die Na- 4
tur der Elektricität, welche das Glas beim Reiben annimmt, davon abhängt, welches Reibzeug man anwendet. Nun aber hat Heintz (P. A. LIX, 305) ferner gezeigt, daß man durch verschiedene Mittel das Glas in einen solchen Zustand versetzen könne, daß es bei schwacher Reibung mit Körpern, die es sonst positiv elektrisch machen, negativ elektrisch wird.

Wenn man einen Glasstab mehrmals durch die Flamme einer Spirituslampe zieht, wodurch er jede Spur etwa an ihm haftender Elektricität verlieren muß, wird er durch schwaches Reiben mit Tuch, welches doch gewöhnlich das Glas positiv elektrisch macht, negativ elektrisch, und erst durch fortgesetztes und stärkeres Reiben tritt die positive Elektricität wieder auf.

Es ist nicht etwa die Wärme des Glasstabes, welche dies veranlaßt, denn wenn man den durch die Flamme gezogenen Stab vollständig erkalten, ja wenn man ihn mehrere Tage ruhig liegen läßt, so wird er bei schwachem Reiben mit Tuch doch negativ elektrisch.

Dieser Versuch zeigt, daß die Wärme nicht die unmittelbare Ursache des oben erwähnten Phänomens ist, es wäre aber doch möglich, daß die Wärme der Flamme die Ursache jenes Zustandes der Glasoberfläche sey, vermöge dessen sie schwach gerieben negativ elektrisch wird. Doch ist auch dies nicht der Fall, wie Heintz gezeigt hat.

Wenn man einen vollkommen gereinigten Glasstab mit Stanniol umwickelt oder ihn in ein Glasrohr steckt und ihn dann in die Weingeistflamme hält, so daß er nicht unmittelbar von der Flamme bespült, wohl aber erwärmt werden kann, so zeigt er die erwähnte Eigenthümlichkeit nicht, selbst wenn er zu sehr hohen Temperaturgraden erwärmt worden war.

Um dem Glasstab die Eigenschaft zu ertheilen, bei schwacher Reibung mit Tuch negativ elektrisch zu werden, ist es nicht nöthig ihn unmittelbar in die Flamme zu halten, es reicht hin, wenn man ihn in einem Abstande von etwa 3 Zoll über der Spitze der Flamme einer guten Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge hin und her bewegt.

Um die Glasstäbe gehörig zu reinigen, wurden sie mit Kalihydrat abgewaschen und mit destillirtem Wasser abgespült.

Andere Flammen brachten auf Glasstäbe im Wesentlichen dieselbe Wirkung hervor, wie die Weingeistflamme.

Eine chemische Wirkung der Verbrennungsproducte auf der Oberfläche des Glases kann nicht die Ursache der Erscheinung seyn, denn Wasserdämpfe bringen diese Wirkung nicht hervor, wohl aber die Flamme von brennendem Wasserstoffgas, wo sich doch auch nur Wasserdämpfe bilden.

Wenn man einen Glasstab in concentrirte Schwefelsäure, Salzsäure oder Salpetersäure taucht, ihn nach dem Herausnehmen mit destillirtem Wasser so lange abspült, bis das abfließende nicht mehr sauer reagirt, dann das noch an demselben haftende Wasser abschwenkt und den Rest an der Luft verdunsten läßt, so verhält sich der Stab gerade so, als sey er durch eine Weingeistflamme gezogen, er wird durch Reiben negativ elektrisch.

Alkalien wirken nicht so wie Säuren, sie erhalten den Glasstab vollständig positiv.

Zwischen verschiedenen Glasstücken zeigt sich ein großer Unterschied in Beziehung auf die Leichtigkeit der Annahme des besprochenen Zustandes.

Auf Bergkrystall, Kalkspath, Gyps und Schwerspath wirkt die Flamme eben so ein wie auf Glas.

Andererseits ist es nicht gelungen, solche Körper, die durch Reiben negativ zu werden pflegen, durch ähnliche Mittel so zu verändern, daß sie dadurch positive Elektricität annehmen.

In Beziehung auf das Reibzeug stellte sich heraus, daß bei diesen Versuchen das Tuch wohl durch Leder, Siegellack, Seide, aber nicht durch Kienmaier'sches Amalgam ersetzt werden könne; wird dagegen ein durch eine Weingeistlampe zu dem Versuch vorbereiteter Glasstab auf Stanniol gerieben, so zeigt er stets negative Elektricität; dasselbe geschieht auch noch bei Anwendung anderer Metalle; auch wenn man den präparirten Glasstab einmal in Quecksilber eintaucht, so zieht man ihn mit negativer Elektricität heraus. Durch wiederholtes Eintauchen wird er positiv.

Wenn man sagt, »daß der Glasstab, wenn er in die Flamme irgend eines brennbaren Körpers gehalten oder nur in concentrirte Säure getaucht wird, auf der Oberfläche eine Veränderung erleidet, die unmittelbar durch die Sinne nicht wahrgenommen werden kann, die sich aber durch das Elektroscop erkennen läßt«, so kann man dies keineswegs eine Erklärung, sondern nur einen modificirten Ausdruck für die Thatsache nennen.

Ueber das elektrische Leitungsvermögen einiger Stoffe. Rieß (P. A. LXIV, 51) hat mehrere Körper in Beziehung auf ihr Leitungsvermögen und ihre Fähigkeit durch Reiben elektrisch zu werden, untersucht.

Ein drei Linien dickes Stäbchen von Selen ist im Stande, ein gelade-

nes Goldblattelektrometer fast augenblicklich zu entladen, man kann mit Hülfe desselben Funken aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine ziehen, isolirt angefaßt und an einer Stelle gegen Flanell gerieben, wurde es seiner ganzen Ausdehnung nach negativ elektrisch. In seinem gewöhnlichen Zustande ist also die Oberfläche des Selens leitend.

Als an einer Stelle der Oberfläche die Substanz durch Schmelzung erneuert wurde, leitete sie die Elektricität nicht so gut wie früher, und ein an der Flamme gezogener Selenfaden isolirte so gut wie Schellack. Mit Flanell, Leder, Leinenzeug oder auch nur durch die trockenen Finger gezogen, wird ein solcher Faden stark negativ elektrisch.

Das Selen gehört also zu den Nichtleitern der Elektricität und wird durch Reiben elektrisch, wenn seine Oberfläche ganz rein ist.

Jod ist ein unvollkommener Leiter der Elektricität. Ein $6\frac{1}{4}$ Linien dicker, $20\frac{1}{2}$ Linien langer Stab dieses Körpers entlud ein Elektroscop in einer Sekunde; ohne Isolation konnte dieser Cylinder nicht elektrisch gemacht werden, isolirt gegen Flanell gerieben wurde er schwach negativ elektrisch.

Der Retinasphalt ist ein Isolator, vorausgesetzt, daß man mit Stücken von reiner glasglänzender Oberfläche zu thun hat. Lederbraune Stücke mit rauher zerrissener Oberfläche dagegen sind leitend, wie dies ja auch bei Bernsteinstücken mit rauher Oberfläche der Fall ist.

Berillium und Aluminium sind in Pulverform, gehörig getrocknet, Nichtleiter der Elektricität.

Elektricitätserregung durch Wasserdampf, welcher aus engen Oeffnungen ausströmt. Herr Armstrong zu Newcastle (P. A. LII, 328. Phil. Mag. Ser. vol. XVII, pag. 370 u. 452, vol. XVIII, p 50) am Tyne wurde gegen Ende 1840 benachrichtigt, daß man zu Seghill, etwa 6 englische Meilen von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einem Dampfkessel eine sehr ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet habe. Aus einer undicht gewordenen Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils strömte nämlich Dampf aus; der Maschinenwärter faßte, während er zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt, mit der andern nach dem Hebel des Ventils, um seine Belastung zu ajustiren, als zwischen diesem Hebel und seiner Hand ein Funken überschlug und er einen starken elektrischen Schlag erhielt. 6

Armstrong begab sich an Ort und Stelle und fand diese Angaben bestätigt; nur waren die Funken nicht mehr so kräftig, wie man sie vorher beobachtet hatte, was er dem Umstande zuschrieb, daß Tags vor seiner Ankunft der Kessel von einer dünnen Kalk-Incrustation befreit worden war, was jedoch, wie sich durch spätere Untersuchungen herausstellte, durchaus keinen Einfluß auf die Elektricitätserregung hat.

In weiterem Verlaufe der Untersuchung stellte sich Armstrong auf einen Isolirschemel und fand, daß alsdann die Funken weit stärker waren. Ein Metallstab, an dessen einem Ende sich eine Messingplatte befand, während das andere Ende mit einer Kugel versehen war, wurde mittelst einer isolirenden Handhabe so gehalten, daß die Platte in den Dampfstrahl kam; der ganze isolirte Leiter zeigte sich nun elektrisch und man konnte aus dem Knopfe Funken ziehen. Wurde der Knopf dem Kessel bis auf 1/4 Zoll genähert, so schlugen 60 bis 70 Funken in der Minute über. Die größte Entfernung zwischen Knopf und Kessel, bei welcher noch ein Funke erschien, war 1 Zoll.

Die Belastung des Ventils betrug 35 Pfund auf den Quadratzoll. Die Stärke der Elektricitätserregung nahm mit der Spannung des Dampfes im Kessel zu und ab.

Die Elektricität des Dampfes und des in denselben gehaltenen Leiters war positiv.

An andern Kesseln angestellte Versuche gaben ähnliche Resultate; besonders kräftige Funken wurden mit einer Locomotive erhalten. Armstrong stand auf einem Isolirschemel und nahm in die eine Hand einen leichten Eisenstab, der in den dem Sicherheitsventil entströmenden Dampf gehalten wurde. Näherte er nun die andere Hand einem unisolirten Leiter, so erhielt er 1 Zoll lange Funken. Die Funkenlänge nahm bis auf 2 Zoll zu, als der Stab 5 bis 6 Fuß über das Sicherheitsventil gehalten wurde.

Auch aus der unter dem Schoppen, in welchem die Locomotive stand, sich anhäufenden Dampfwolke ließ sich, wie durch Blitzableiter aus einer Gewitterwolke, Elektricität herabziehen.

Als das obere Ende des in der Hand gehaltenen Stabes mit einem Bündel spitzer, nach unten gerichteten Drähte versehen wurde, konnte man am unteren mit einem Knopf versehenen Ende 4 Zoll lange Funken erhalten.

Um die negative Elektricität nachzuweisen, welche der positiven Elektricität des ausströmenden Dampfes entspricht, wurde die Locomotive von den Schienen abgehoben und mit ihren Rädern auf isolirende Unterlagen gestellt. Jede dieser Unterlagen bestand aus zwei Stücken gedörrten mit Pech überzogenen Holzes, getrennt durch eine Zwischenlage von Pech und Packpapier. Hierauf brachte man das Wasser im Kessel ins Sieden. So lange der Dampf eingeschlossen blieb, gab der Kessel keine Anzeige von Elektricität, so wie man ihn aber entweichen ließ, zeigte sich der Kessel stark negativ.

Die Funken aus dem Kessel waren nie länger als 1 Zoll, was leicht begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß die Elektricität des Kessels wegen

der vielen Ecken und Hervorragungen der Locomotive keine hohe Spannung erreichen konnte.

Die Versuche, welche Armstrong anstellte, um die Quelle der an Dampfkesseln beobachteten Elektricität zu ermitteln, können hier füglich übergangen werden, da sie zu keinem entscheidenden Resultat führten; wir gehen sogleich zu den Untersuchungen über, welche Faraday über diesen Gegenstand anstellte.

Faraday's Untersuchungen über Hydroelektricität. Das Wesentlichste der Resultate, welche Faraday's Untersuchungen über Hydroelektricität lieferten, ist bereits in meinem Lehrbuch der Physik (3e Aufl. 2r Th. S. 82) erwähnt, hier bleiben deshalb nur noch einige Details zu besprechen. 7

Der von Faraday angewandte Apparat (P. A. LX, 321) war nicht darauf berechnet, Dampf in Menge oder von hohem Druck zu liefern, da es sein Zweck war, die Ursache der Erscheinung zu ermitteln und nicht die Erregung der Elektricität zu verstärken. Sein Kessel hielt 10 Gallonen (45 Liter) Wasser und gestattete 5 Gallonen zu verdampfen. An diesem Kessel war eine 4,5 Fuß lange Röhre befestigt, welche ungefähr $^3/_4$ Zoll Durchmesser hatte und an ihrem Ende eine Kugel von ungefähr 4 Zoll Durchmesser trug, die er die Dampfkugel nennt und an welche verschiedene Mundstücke angeschraubt werden können.

Fig. 1.

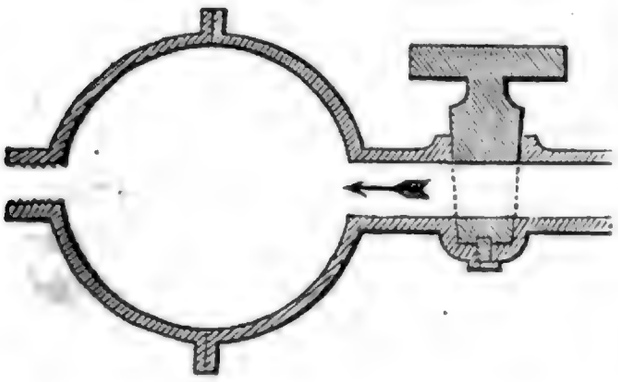
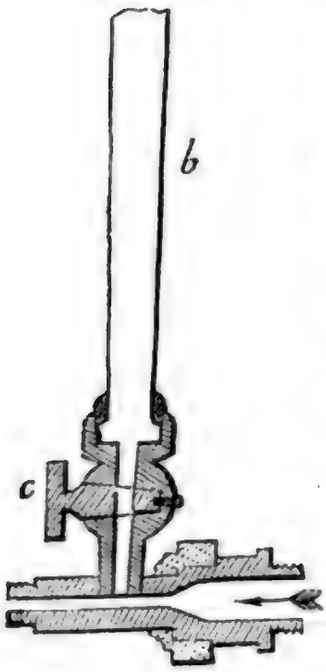


Fig. 2.



Der Kessel war gut isolirt. —

Als Mundstück sey ein in Wasser getränktes Buchsbaumröhrchen an die Dampfkugel angeschraubt. Wenn die Dampfkugel kein Wasser enthält, so erregt nach den ersten Momenten, und sobald der Apparat heiß ist, der ausströmende Dampf keine Elektricität. Ist aber die Kugel so weit mit Wasser gefüllt, daß Wasser durch den Dampf mit fortgetrieben wird, so erscheint eine Fülle von Elektricität.

Ist statt des Buchsbaumröhrchens der Apparat Fig. 2 angeschraubt, welcher aus einem Röhrchen besteht, in welches von oben her durch Oeffnen eines Hahnes aus einem schmalen Gefäß *b* Wasser eingelassen werden kann; so erhält man durch das

Ausſtrömen des Dampfes keine Elektricität, wenn die Dampfkugel leer von Waſſer und der Hahn *c* geſchloſſen iſt; ſobald man aber den Hahn öffnet, ſo daß Waſſer in das Ausſtrömungsrohr tröpfelt und durch den Dampf mitgeriſſen wird, ſo entwickelt ſich ſogleich Elektricität.

Daraus geht hervor, daß der Dampf allein nicht genügend iſt, um Elektricität zu entwickeln, es muß nothwendig condenſirter Dampf, alſo tropfbar flüſſiges Waſſer, ſich an die Wände des Ausflußkanals reiben, oder mit andern Worten, die Elektricität entſpringt gänzlich aus der Reibung der vom Dampfe fortgeführten Waſſertheilchen.

Läßt man durch den Apparat, Fig. 2, ſtatt reinen Waſſers ſolches Waſſer in die Ausflußröhrchen ein, in welchem nur eine geringe Menge irgend eines Salzes aufgelöſt, oder welches etwas Säure enthält, ſo hört alle Elektricitätsentwickelung auf.

Dies rührt, wie Faraday richtig bemerkt, daher, daß die Leitungsfähigkeit des Waſſers durch dieſe Subſtanzen ſo erhöht wird, daß die bei ſeiner Reibung an Metall oder einem andern Körper erregte Elektricität ſich unmittelbar wieder entladen kann. Es iſt dies gerade ſo, wie wenn wir Schellack durch Flanell zu erregen ſuchen, welcher ſtatt trocken zu ſeyn feucht iſt.

Da Ammoniak die Leitungsfähigkeit des Waſſers nur unbedeutend erhöht, ſo ſchloß Faraday, daß eine Ammoniaklöſung, ſtatt reinen Waſſers in die Ausflußröhrchen gebracht, noch eine Elektricitätserregung geben müſſe. Der Verſuch beſtätigte dieſe Vermuthung.

Metalle, Holz, Glas, Schellack, Schwefel u. ſ. w. werden durch Reiben mit dem Dampf- und Waſſerſtrom negativ, während der Strom ſelbſt mit poſitiver Elektricität entweicht. Ein Röhrchen von Elfenbein als Ausflußmündung benutzt, giebt faſt gar keine Elektricitätsentwickelung, ſo daß weder der Keſſel noch der Dampfſtrom elektriſch iſt.

Läßt man den unelectriſchen Strom von Dampf und Waſſer gegen verſchiedene Körper ſtoßen, ſo entwickelt ſich hier Elektricität. Wenn man über eine Gabel von ſteifem Draht Drähte oder Fäden ſpannt und dieſes Geflecht iſolirt in den nichtelektriſchen Dampf- und Waſſerſtrom hält, ſo wird es elektriſch, wie ſich mit einem Goldblattelektrometer nachweiſen läßt. Auf dieſe Weiſe fand Faraday, daß Leinen, Baumwolle, Seide, Wolle, Garn u. ſ. w. durch die Reibung mit dem Dampf-Waſſerſtrom ebenfalls negativ elektriſch werden.

Als Faraday einen iſolirten Draht in den aus einem Glas- oder Metallrohr kommenden, alſo poſitiv elektriſchen Dampfſtrom, und zwar ungefähr ½ Zoll von der Mündung des Rohrs hielt, blieb er, der Draht nämlich, unerregt; näher bei der Mündung des Rohrs gehalten, wurde er negativ, weiter davon entfernt hingegen poſitiv. — Es kommt dies daher,

daß der Draht, wenn er dem Rohre nahe ist, in dem kräftigen Theile des Stroms erregt und negativ wurde, wobei der Dampf- und Wasserstrom positiver wurde als zuvor; weiter weg hingezogen, in dem ruhigen Theile des Stromes findet keine merkliche Erregung durch Reibung Statt, der Draht dient hier nur als Entlader des positiven Dampfstroms, von dem er einen Theil seiner positiven Elektricität aufnimmt.

Bringt man durch den Hahn, Fig. 2, etwas Terpentinöl in die Ausflußröhre, so wird der Kessel positiv, der ausströmende Dampf negativ; wenn der Hahn wieder geschlossen wird, so kehrt sich der Zustand bald wieder um, weil das Oel sehr rasch verschwindet. Mit Olivenöl sind die Erscheinungen im Allgemeinen dieselben, d. h. der Strom von Dampf und Wasser wird negativ, der Kessel positiv, doch ist dieser Zustand bleibender. Sehr wenig Olivenöl in die Ausgangsröhre gebracht, macht den Kessel für lange Zeit positiv.

Nahm man eine Holzröhre zum Erregen und brachte man etwas Oel in deren inneres Ende, d. h. an das Ende, in welches der Dampf eintritt, so wurde der Kessel positiv, der austretende Dampf negativ, brachte man aber das Oel an das äußere Ende der Röhre, so wurde der Kessel negativ, der Dampfstrom positiv.

Ist an die Dampfkugel eine einfache Ausflußröhre angeschraubt, so bringt Oel seine Wirkung auch hervor, wenn man auf das in der Dampfkugel enthaltene Wasser etwas Oel bringt, wenn jedoch die Dampfkugel gar kein Wasser, sondern nur Oel enthält, so fand gar keine Elektricitätserregung Statt.

Speck, Wallrath, Bienenwachs, Ricinusöl, Harz gelöst in Alkohol und Lorbeeröl wirken wie Baumöl und Terpentinöl.

Faraday ist nun der Meinung, daß diese Wirkungen so zu erklären seyen, daß nicht mehr Wasser an den Kanalwänden sich reibt, sondern das Oel, indem wohl jedes kleine Wasserkügelchen mit einer ganz dünnen Oelschicht überzogen sey.

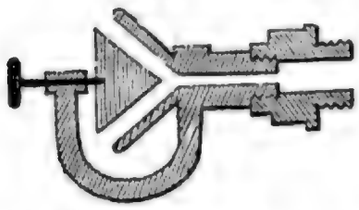
Für diese Ansicht führt er an, in welch dünne Schichten sich Oel auf einer Wasserfläche ausbreite, ferner aber, daß der Zusatz von etwas Salz oder Säure, welcher sonst alle Erregung von Elektricität vernichtet, bei Gegenwart von Oel diese Wirkung nicht hat, d. h. wenn Oel in der Ausflußröhre ist, so findet noch eine Erregung Statt, wenn das Wasser auch etwas salzig oder sauer ist.

Ich sehe unter diesen Thatsachen jedoch keine einzige, welche mit der mir wenigstens viel natürlicher scheinenden Ansicht in Widerspruch stände, daß man nicht Oel an den Kanalwänden, sondern Wasser an den durch das Oel veränderten Kanalwänden reibend zu betrachten habe, eine Ansicht, die auch Faraday nicht ganz ausschließt, indem er sagt: »Es ist sehr

wahrscheinlich, daß, wenn Holz, Glas oder selbst Metall durch diese Oelströme gerieben wird, das Oel nicht bloß reibend an Holz u. s. w., sondern auch an Wasser betrachtet werden muß u. s. w.«

Läßt man aus einem Gefäß, in welchem sich comprimirte Luft befindet, diese gegen einen Kegel von Holz oder Messing strömen, der vor der Ausflußöffnung so angebracht ist, wie man Fig. 3 sieht (ob dieser Kegel mit dem Gefäß, in welchem sich die comprimirte Luft befindet, bei diesen Versuchen in leitender Verbindung war oder nicht, läßt sich aus der Faraday'schen Darstellung nicht entnehmen), so fand gar keine Elektricitätserregung Statt, sobald die Luft gehörig getrocknet war; war aber die Luft feucht, so wurde der Kegel negativ. Faraday schreibt diese Elektricitätserregung den Wassertheilchen zu, welche durch die Ausdehnung und Abkühlung der am Kegel sich reibenden Luft verdichtet werden. Solche Theilchen werden in dem erscheinenden Nebel sichtbar, sowie auch dadurch, daß sie die Oberfläche des Holzes oder des Metalls feucht machen.

Fig. 3.



Wenn der Luftstrom Wassertheilchen, die er auf seinem Wege mitgerissen hatte, gegen den Kegel schleuderte, so wurde er (der Kegel) natürlich auch negativ erregt.

Wenn der Luftstrom gepulverte Körner mit sich führt, so sind auch diese zur Elektricitätserregung fähig. Schwefelblumen z. B. machen Holz und Metall negativ, Kieselerde machte beide positiv. Andere Körper, wie gepulvertes Harz und Gummi, gaben unstete Resultate.

8 **Elektricitätserregung durch Ausströmung flüssiger Kohlensäure.** Am obern Ende einer starken Glassäule brachte Jolly eine Holzfassung an, welche geeignet ist, um daran den Kolben der Natterer'schen Condensationsmaschine so zu befestigen, daß die Ausströmungsöffnung nach unten gerichtet ist. Sobald diese Oeffnung aufgeschraubt wird, und nun die flüssige Kohlensäure ausströmt, wird der Kolben elektrisch, so daß man kleine Fünkchen aus ihm ziehen kann.

9 **Armstrong's Hydroelektrisirmaschine.** Die Beschreibung dieser Maschine findet sich schon in meinem Lehrbuch der Physik. Vor den größten und besten Scheibenmaschinen zeichnet sie sich nicht sowohl durch eine höhere Spannung, als dadurch aus, daß sie eine ungleich größere Quantität von Elektricität liefert. Die Funkenlänge ist nicht größer als bei den ausgezeichnetsten Scheibenmaschinen, alle Wirkungen aber, bei denen es darauf ankommt, in kurzer Zeit eine große Elektricitätsmenge zu liefern, sind bei der Hydroelektrisirmaschine viel ausgezeichneter.

Die größte Kraft entwickelt sie, wenn die Elektricität in Form eines

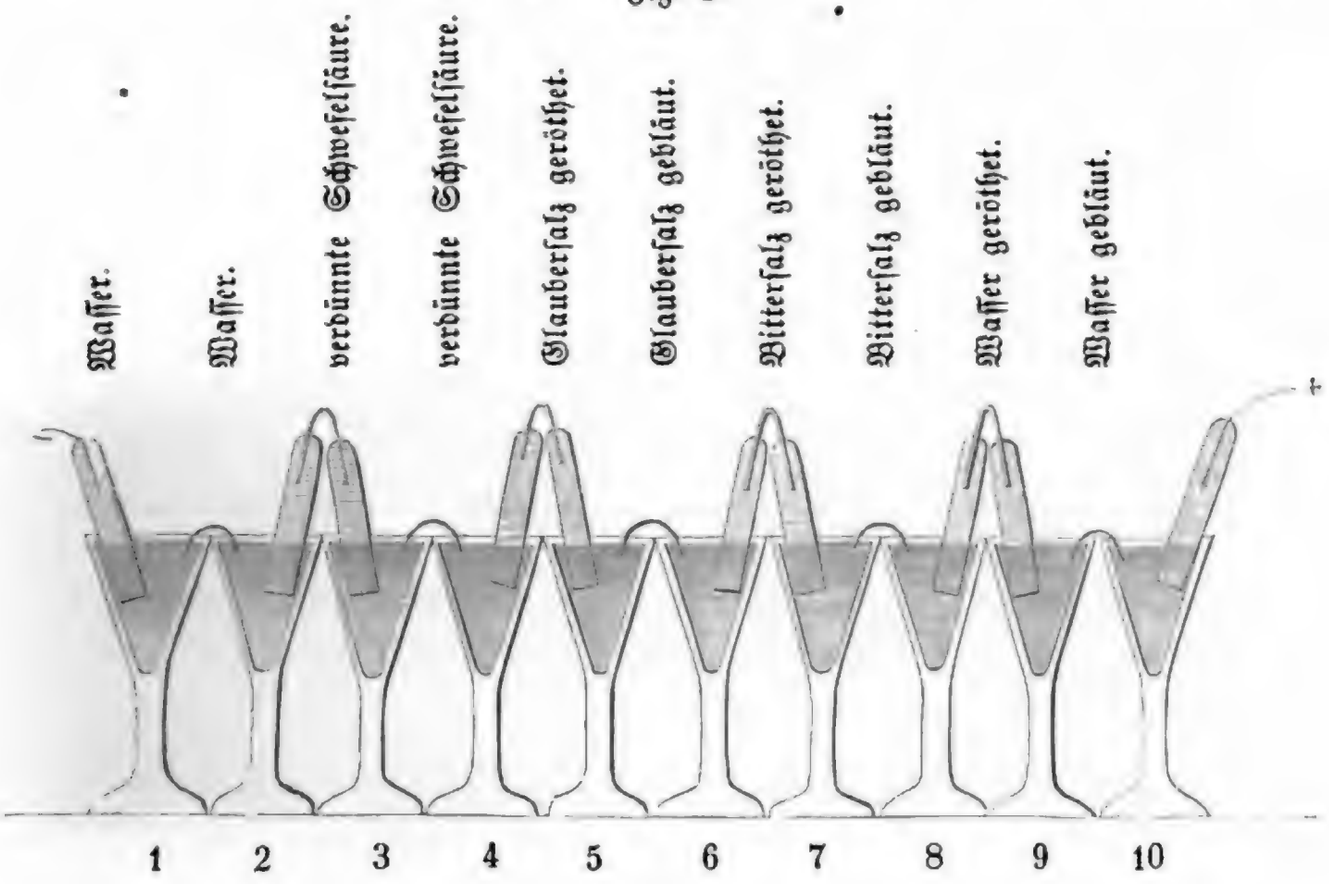
Stromes, ohne zerreißende Entladung ausgezogen wird. — So wird die wahre elektrolytische Wasserzersetzung, welche bisher niemals unzweifelhaft mit Reibungselektricität erhalten wurde, auf die klarste und entschiedenste Weise durch die Hydroelektrisirmaschine erhalten.

Es wurden 10 Weingläser in eine Reihe gestellt. Es enthielten

1 und 2 destillirtes Wasser,
3 und 4 destillirtes Wasser + $\frac{1}{6}$ Volumen Schwefelsäure,
5 Glaubersalzlösung geröthet mit gesäuertem Lakmus,
6 Glaubersalzlösung geblaut mit Lakmus,
7 Bittersalzlösung geröthet mit gesäuertem Lakmus,
8 Bittersalzlösung geblaut mit Lakmus,
9 destillirtes Wasser geröthet mit gesäuertem Lakmus,
10 destillirtes Wasser geblaut mit Lakmus.

Glasröhren von $3\frac{1}{2}$ Zoll Länge, die oben geschlossen, mit den respectiven Flüssigkeiten gefüllt und am obern Ende mit eingeschmolzenen, theils hinein, theils herausragenden Platindrähten versehen waren, verbanden mittelst dieser Drähte, wie man Fig. 4 sieht, die Gläser 2 und 3, 4 und 5,

Fig. 4.



6 und 7, 8 und 9, während 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6, 7 und 8, 9 und 10 durch nasse Baumwollfäden verbunden waren, und zwei Röhren von der beschriebenen Einrichtung die eine im Glas Nro. 1, die andere im Glase Nro. 10 sich befanden. Der Draht des Röhrchens im Glase Nro. 1

war mit dem Keſſel, der Draht des Röhrchens im Glas Nro. 10 mit einer bleiernen Röhrenleitung in leitender Verbindung.

Sowie die Dampfelektriſirmaſchine in Thätigkeit geſetzt wurde, erſchienen Gasblaſen an allen Drähten, an den negativen genau in doppelter Volummenge, als an den poſitiven, und es zeigte ſich bei nachheriger Unterſuchung, daß das erſtere Waſſerſtoff, das letztere Sauerſtoff war. Nach 2—3 Minuten wurde das Waſſer im Glaſe Nro. 9 rings um den Draht blau, in 10 aber roth, und ähnliche Farbenveränderungen traten, wenn auch nicht ſo raſch, in den Glauberſalz- und Bitterſalzlöſungen ein.

Der Verſuch wurde fortgeſetzt, bis die Spannkraft des Dampfes von 75 Pfund auf 40 Pfund pro Quadratzoll herabgeſunken war. Dann wurde der Dampf abgeſperrt, der Keſſel verſchloſſen gehalten, bis die Spannkraft wieder auf ihren anfänglichen Werth gelangt war, und nun der Verſuch nochmals wiederholt, und zwar ſtets mit demſelben Erfolg.

Es war keine Abnahme in der Menge der entwickelten Gaſe zu ſpüren, wenn in dem Ableitungsdraht irgendwo eine kleine Unterbrechung angebracht war, ſo daß die Elektricität ſtatt in einem ſtetigen Strom überzugehen, es in kurzen Funken that.

Bei ähnlichen Verſuchen leitete Armſtrong den Strom bloß durch zwei mit deſtillirtem Waſſer gefüllte Gläſer, die durch einen Seidenfaden mit einander verbunden waren; es zeigte ſich dabei die von der Volta'ſchen Säule her wohlbekannte Erſcheinung, daß das Niveau in dem Glaſe, welches den negativen Pol enthielt, bedeutend ſtieg und im andern ſank.

Es wurde hierbei noch eine andere intereſſante Erſcheinung beobachtet. Als nämlich die beiden Gläſer bis zum Rande mit Waſſer gefüllt auf 0,4 Zoll mit ihren Rändern einander genähert und durch einen feuchten Seidenfaden, der lang in das Waſſer beider herabſchlängelte, verbunden wurden, zeigte ſich:

1) daß ſogleich zwiſchen beiden Gläſern eine den Faden einhüllende Waſſerſäule entſtand, und der Seidenfaden ſich von dem mit dem negativen Pol verbundenen Glaſe zu dem andern in Bewegung ſetzte, und ſehr bald in dieſes, das den poſitiven oder zum Erdboden führenden Pol enthielt, hinübergezogen war.

2) Daß, nachdem dies geſchehen, das Waſſer einige Sekunden fortfuhr, und zwar ohne Hülfe des Fadens, zwiſchen beiden Gläſern ausgeſtreckt zu bleiben, und daß darauf, als es ſich zertheilte, die Elektricität in Funken überging.

3) Daß, wenn der Seidenfaden mit ſeinem Ende im negativen Glaſe befeſtigt ward, das Waſſer im poſitiven Glaſe ab-, im negativen zunahm, deutlich zeigend, daß ſeine Bewegung der des Fadens bei freier Beweglichkeit entgegengeſetzt war.

4) Bei Aufschüttung von Staubtheilchen auf die Oberfläche des Wassers gewahrt man, daß zwischen den Gläsern zwei entgegengesetzte Ströme vorhanden waren, ein innerer, vom negativen zum positiven Glase, und ein äußerer, den andern einschließend, vom positiven zum negativen. Zuweilen reichte der äußere Strom nicht in das negative Glas, sondern tröpfelte an der Außenseite derselben herab und dann häufte sich das Wasser nicht im negativen Glase an, sondern verminderte sich in beiden.

5) Nach vielen fruchtlosen Versuchen gelang es, das Wasser auf mehrere Minuten ohne Hülfe eines Fadens von einem Glase zum andern übergehend zu machen. Nach Verlauf dieser Zeit konnte an der Wassermenge in beiden Gläsern keine merkliche Veränderung wahrgenommen werden. Es schien daher, daß die beiden Ströme beinahe, wenn nicht ganz, gleich seyen, sobald der innere nicht durch die Reibung am Faden verzögert wird.

Für das Gelingen dieses Versuchs ist es wesentlich, daß das Wasser vollkommen chemisch rein sey. Die geringste Verunreinigung macht das Wasser auf dem Faden sieden, der Faden wird beinahe trocken und durch die vom elektrischen Strome entwickelte Hitze zerstört.

Auch andere chemische Wirkungen, wie Fällung von Kupfer aus seiner Lösung auf Silber, die Zersetzung von Jodkalium u. s. w., ließen sich mittelst dieser Elektrisirmaschine vollständig bewirken.

Endlich gelang es auch, indem die von Dampf entwickelte Elektricität durch ein Drahtgewinde geleitet wurde, die Magnetnadel abzulenken und einen Cylinder von weichem Eisen zu magnetisiren.

Quelle der Luftelektricität noch unbekannt. Schon Volta und Saussüre sprachen die Ansicht aus, daß die Luftelektricität in der Verdampfung des Wassers ihren Ursprung habe und stützten sich dabei auf Versuche, welche die Elektricitätsentwickelung durch Verdampfung beweisen sollten. Diese Versuche gaben jedoch nicht immer sichere Resultate. Durch Pouillet's Untersuchungen wurde die Ursache dieser Unsicherheit scheinbar aufgefunden; die Elektricitätsentwickelung findet, seinen Versuchen zufolge, nicht bei Verdampfung des reinen Wassers, sondern bei der Verdampfung von Wasser Statt, welches Salze, Säuren oder Alkalien aufgelöst enthält.

In der ersten Auflage meiner Bearbeitung von Pouillet's Physik finden sich die entsprechenden Versuche auf Seite 521 des ersten Theils beschrieben. Für mich waren jene Versuche schon damals nicht überzeugend, sie schienen mir nicht mit der nöthigen Vorsicht und Umsicht angestellt zu seyn, um die Pouillet'sche Ansicht außer Zweifel zu setzen, was mich bestimmte, den entsprechenden Paragraphen des Lehrbuchs mit dem Wunsche zu schließen, es möchte eine kritische Wiederholung dieser Ver-

ſuche vorgenommen werden. — In den ſpätern Auflagen meines Lehrbuchs der Phyſik habe ich den ganzen Paragraphen weggelaſſen, weil mir ſein ganzer Inhalt noch zu problematiſch und deshalb für ein Lehrbuch nicht geeignet ſchien.

Durch Armſtrong's Entdeckung und Faraday's Unterſuchung der Elektricitätserregung durch ausſtrömenden Dampf wurde nun für die Auslegung der Verſuche Pouillet's ein neuer Standpunkt gewonnen, von welchem aus Reich und Rieß dieſelben wiederholten und das wahre Sachverhältniß ermittelten.

Reich hat ſeine Verſuche in den »Abhandlungen bei der Begründung der königl. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften u. ſ. w.«, herausgegeben, Leipzig 1846, Seite 199 publicirt.

Die von Pouillet angeführten Verſuche fand er beſtätigt. Läßt man in einen reinen mit einem empfindlichen Elektroſcop verbundenen und iſolirten Platintiegel, den man vorher erhitzt, dann aber von der Wärmequelle entfernt hat, reines Waſſer eintropfen und verdampfen, ſo erhält man keine Elektricität, weder mit noch ohne Condenſator.

Tropft man eine Kochſalzlöſung in den heißen Tiegel, ſo erhält man anfänglich, ſo lange der Tropfen wegen zu großer Hitze des Tiegels kugelförmig umhertreibt, ebenfalls keine, oder nur ſehr geringe Spuren von Elektricität, ſobald aber bei hinlänglicher Abkühlung des Tiegels die Flüſſigkeit aufkocht, ladet ſich der Elektroſcop negativ und zwar bei einem großen Tiegel ziemlich ſtark.

Die Anwendung des Condenſators bringt kaum merklichen Vortheil, indem man ohne Condenſator faſt denſelben Ausſchlag erhält, wie mit demſelben.

Dies und den Umſtand, daß die Elektricitätsentwickelung ſo plötzlich mit dem Aufkochen eintritt, betrachtet Reich als eine beſondere Stütze für die Anſicht, daß hier die Elektricitätsentwickelung nicht die Folge der Verdampfung iſt, ſondern daß lediglich die Reibung der umhergeſpritzten Waſſertheilchen an den heißen Tiegelwänden die Urſache derſelben iſt.

Daß, wenn hier Reibung die Urſache der Elektricitätsentwickelung iſt, erſt dann eine ſtarke Entwickelung derſelben ſtattfinden kann, wenn die Waſſertheilchen heftig umhergeſchleudert werden, iſt klar. Beim Eintröpfeln der Flüſſigkeit zeigen ſich zuweilen Spuren von Elektricität, weil dabei einzelne Theilchen zurückſpritzen können.

Die durch Reibung der umhergeſpritzten Theilchen an den Tiegelwänden entwickelte Elektricität hat eine ziemlich bedeutende Spannung, ſo daß ſie das Goldblättchen des Elektroſcops zur Divergenz bringt, allein die Elektricitätsentwickelung iſt nicht nachhaltig und deshalb hilft der Condenſator nichts.

Daß bei Anwendung von reinem Wasser keine Elektricitätsentwickelung stattfindet, ist wohl so zu erklären, daß bei Salzlösungen das tumultuarische Kochen schon beginnt, während die Gefäßwände noch eine weit höhere Temperatur haben, als es der Fall ist, wenn das reine Wasser ins Kochen kommt. Das reine Wasser findet, wenn seine Theilchen umhergespritzt werden, die Tiegelwände schon so weit erkaltet, daß sie benetzt werden, während sie bei Salzlösungen noch so heiß sind, daß sie daran hinrollen.

In einem Platintiegel, welcher mit einem Elektroscop gehörig verbunden war, brachte Reich Quarzsand, Porzellanstückchen, geröstete Eisenfeile u. s. w. ins Glühen, entfernte die Lampe und bespritzte diese Körper mit reinem Wasser. Während dies im leeren Tiegel keine Spur von Elektricität gab, fand sich unter diesen Umständen stets eine sehr merkliche Elektricitätsentwickelung.

Rieß sagt in einem kleinen Aufsatz (P. A. LXIX, 286), die Abhandlung Reich's habe ihn an die Versuche erinnert, welche er über denselben Gegenstand schon im Jahre 1844 angestellt habe, und unter denen er den folgenden als besonders schlagend und lehrreich hervorhebt.

Ein Platinlöffel mit runder Höhlung, die 0,24 Grammen Wasser faßte, wurde isolirt und durch einen Draht mit dem Stift eines Behrens-Fechner'schen Elektroscops verbunden. Der Platinlöffel wurde durch eine untergestellte Weingeistlampe weißglühend gemacht, die Lampe rasch entfernt, und mit einer Pipette eine bestimmte Menge Kochsalzlösung in den Löffel gebracht, die denselben beinahe anfüllte. Die Flüssigkeit rundete sich ab, rotirte und wurde bei einem gewissen Grade der Abkühlung mit tumultuarischer Verdampfung aus dem Löffel geschleudert. Während dieses ganzen Verlaufs zeigte sich am Elektroscop keine Elektricität.

Nun wurde ein Platinblech zu einem Cylinder von 17 Linien Höhe und 5 Linien Durchmesser aufgerollt und, nachdem derselbe auf die Höhlung des Löffels gestellt worden war, der vorige Versuch wiederholt. Bei der gewaltsamen Verdampfung der Flüssigkeit wurde so viel — *E* frei, daß das Goldblättchen an dem entsprechenden Pol anschlug.

Dieser Versuch, welcher stets mit gleichem Erfolge erhalten werden konnte, wenn die Platinflächen zuvor von dem ausgeschiedenen Salz befreit worden waren, lehrt uns, daß in den bekannten Pouillet'schen Versuchen nicht die chemische Trennung, welche die Verdampfung begleitet, Ursache der Elektricitätserzeugung ist, sondern die Reibung der feinzertheilten Flüssigkeit gegen die Tiegelwand, unter der Bedingung, daß die Flüssigkeit über die Wand fortrolle, ohne dieselbe zu benetzen.

Bei allmäliger Verdampfung konnte Rieß nicht eine Spur von *E* nachweisen. Ebenso konnte Reich durch Verdampfung unter dem Siedepunkt nicht die allergeringste Elektricitätsentwickelung entdecken.

Alle Versuche, welche Reich anstellte, um eine etwaige Elektricitätsentwickelung durch Condensation von Wasserdämpfen zu entdecken, gaben durchaus negative Resultate.

Rieß wiederholte auch die Versuche Pouillet's über die Elektricitätsentwickelung durch den Vegetations-Prozeß. Eine isolirte Porzellanwanne wurde mit Gartenerde gefüllt und in diese Gartenkresse gesäet. Die stets gehörig feucht gehaltene Erde war durch einen Messingdraht mit der Collectorplatte eines 6zölligen Condensators verbunden. Die abgehobene Condensatorplatte wurde an einem Säulenelektroscop geprüft. — Vom März bis zum August 1844 ließ Rieß 11 mal Gartenkresse in der Erde keimen und untersuchte den Condensator täglich, bis die Kresse die Höhe von 2 Zoll erreicht hatte. Häufig fanden sich Spuren von Elektricität am Condensator, aber nicht von constanter Art; einige Controllversuche mit unbesäeter Erde machen es wahrscheinlich, daß jene elektrische Spuren nicht von der Vegetation herrühren.

Aus allen diesen Versuchen geht hervor, daß die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetationsprozeß die Ursachen der Luftelektricität seyen, durchaus nicht experimentell begründet ist.

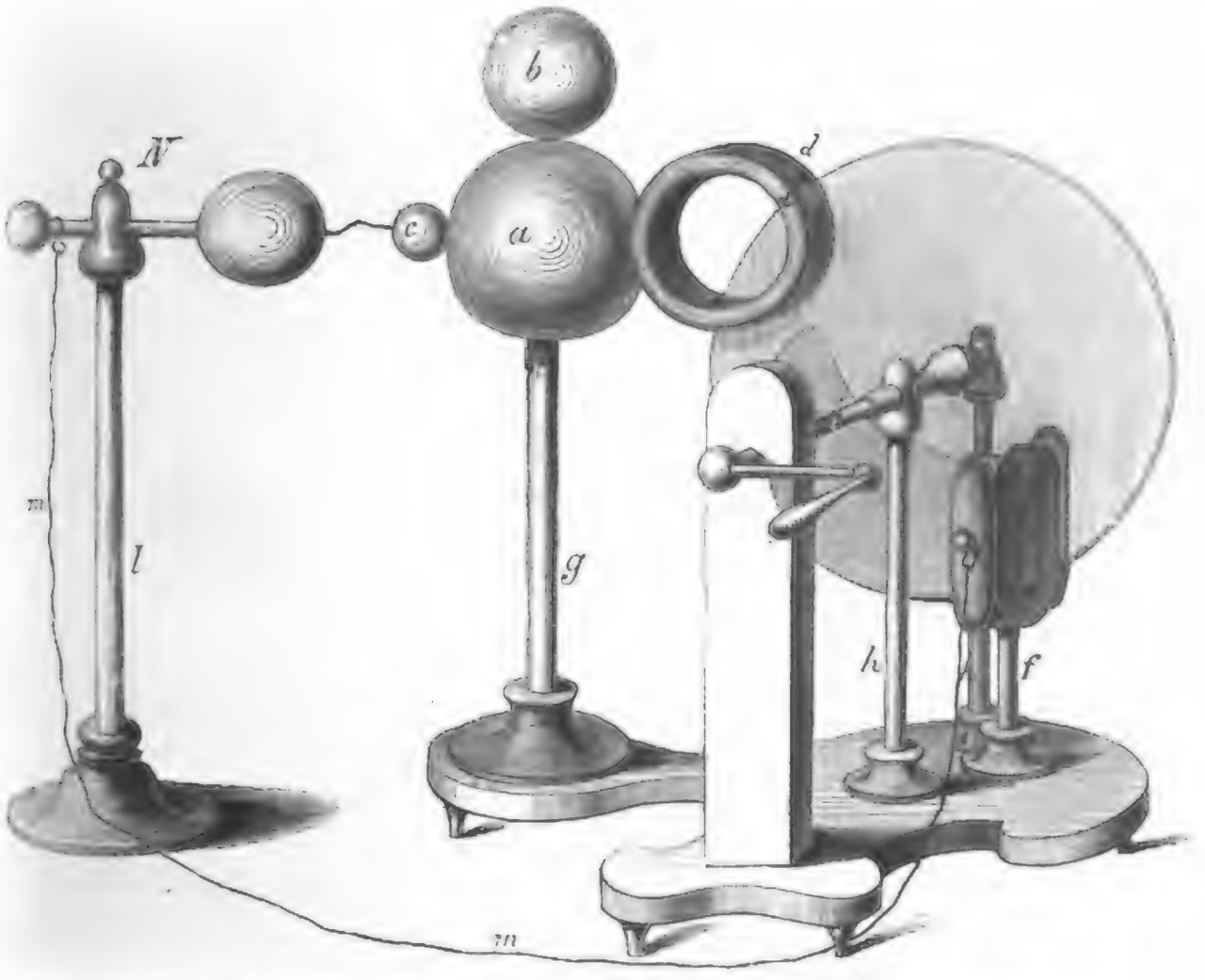
11 **Die Elektrisirmaschine.** Die Elektrisirmaschine gehört zu den verbreitetsten und bekanntesten physikalischen Apparaten, und dennoch wird man nur selten kräftige Elektrisirmaschinen zu billigen Preisen erhalten können; ich glaube deshalb, daß es Manchem von Interesse seyn wird, die Construction der Elektrisirmaschinen kennen zu lernen, nach welcher Herr Carl Winter (k. k. Catastral-Lithograph und Elektriker, Wien, Wieden-Waaggasse Nr. 501) Maschinen von ausgezeichneter Wirksamkeit und zu sehr billigen Preisen baut.

Fig. 5 stellt eine Maschine von 15zölliger Scheibe, ungefähr in 1/9 der natürlichen Größe dar, welche 7 bis 9 Zoll lange Funken giebt. Die Umdrehungsaxe *i* der Scheibe, so wie die Säulen *h*, *i*, *g*, *f* und *l* sind von Glas. Die Säulen *h* tragen die Axe der Scheibe, *f* trägt das Reibzeuggestell, *g* trägt den Conductor, *l* den Funkenzieher.

Der Conductor *a* sammt der Kugel *b* und *c* sind von Messingblech. Um die Ableitung der Elektricität durch die Säule *g* möglichst gering zu machen, hat der Conductor *a* die schon von Van Marum bei der großen Harlemer Maschine mit Erfolg angewandte Form, welche man aus dem Durchschnitt, Fig. 6 (a. S. 18), deutlicher erkennen

kann. Der Conductor trägt die beiden Holzringe *d*, zwischen denen sich die Scheibe bewegt. Diese Ringe sind von polirtem Holze und jeder ist

Fig. 5.



auf der der Glasscheibe zugekehrten Seite mit einem Stanniolstreifchen versehen, aus welchem die Saugspitzen hervorragen, und welches bis zum Conductor *a* fortgesetzt, die aufgesaugte Elektricität diesem zuführt.

Auf die Kugel *b* wird noch ein Holzstab von ungefähr 1 Zoll Durchmesser und etwas über 1 Fuß Höhe aufgesteckt, der einen Holzring von nahe 2 Fuß Durchmesser trägt, dessen Querschnitt dem des Stabes gleich ist. Stab und Ring sind mit Stanniol überzogen.

Der Funkenzieher *N* ist durch eine Metallschnur *m*, welche in Seidenband eingenäht ist, mit dem Conductor des Reibzeuges in Verbindung gesetzt.

Um negative Elektricität zu erhalten, hat man nur die Schnur *m* aus dem Conductor des Reibzeugs auszuhängen, und den Conductor *a* mit dem Boden in leitende Verbindung zu setzen.

Das Gestell, welches das Reibzeug trägt, ist in Fig. 7 für sich allein dargestellt. Auf einem Glasfuß steht das gabelförmige Holzstück *n*,

in welchem auf jeder Seite eine Vertiefung zur Aufnahme des Reibzeugs eingeſchnitten iſt; in der Mitte derſelben befindet ſich ein Stanniolſtreifen, welcher die Elektricität von der Feder des Reibzeugs aufnimmt und zum negativen Conductor *o* führt.

Fig. 6.

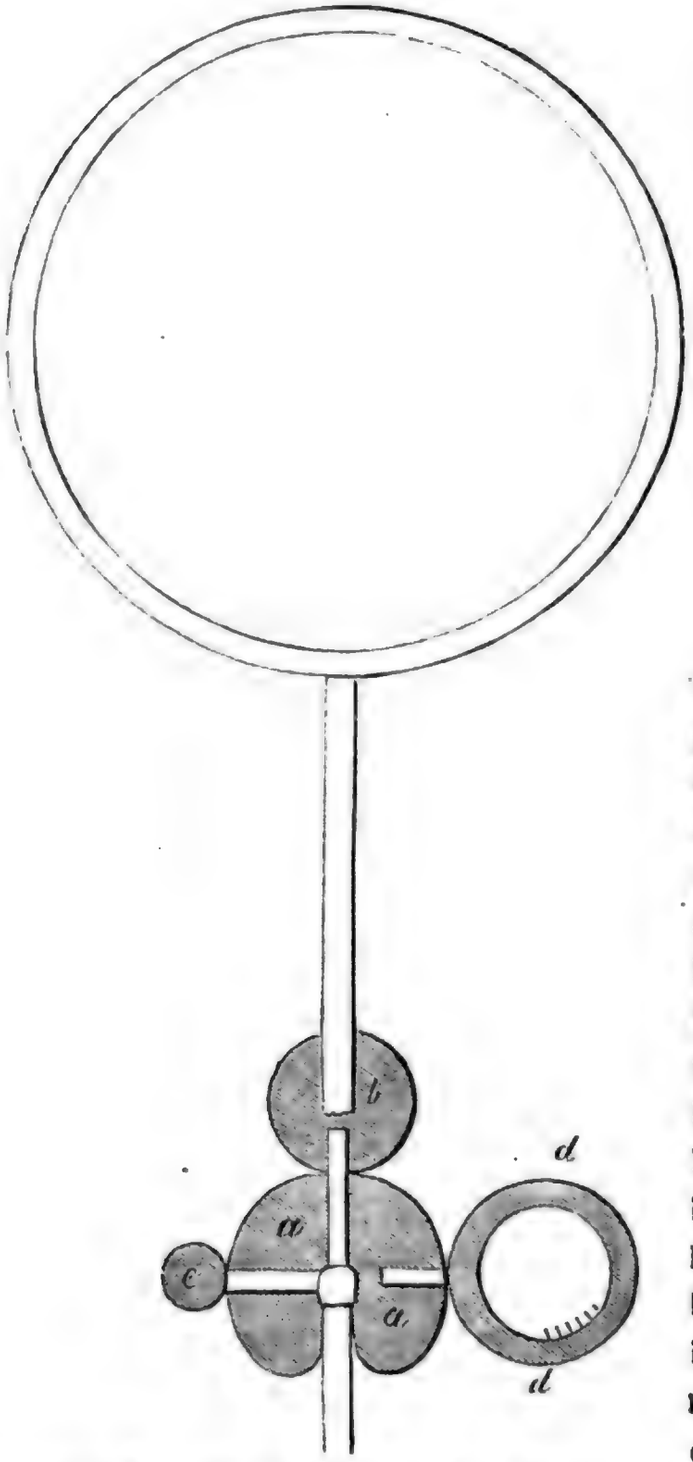


Fig. 7.

Fig. 8.

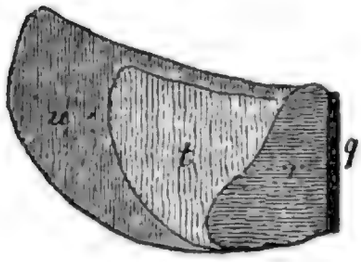
Das Reibzeug ſelbſt iſt in Fig. 8 dargeſtellt, und zwar von der Rückſeite mit Hinweglaſſung des daran befeſtigten Wachstaffents; *p* iſt ein Schieber von Holz, welcher in dem Reibzeuggeſtell eingeſchoben wird; *q* iſt eine Leiſte, welche das Durchſchlüpfen des Reibzeugs verhindert. Auf dem Schieber *p* iſt das amalgamirte Leder *r* befeſtigt. Beim Einſchieben des Reibzeugs wird die Metallfeder *s*, welche mit ihrem ſchmalen Ende auf *p* aufgeſchraubt iſt, niedergedrückt. Wenn einmal das Reibzeug eingeſchoben iſt, ſo drückt dieſe Feder mit genügender Kraft und Elaſticität das Reibzeug gegen die Scheibe.

In der Mitte der Leiſte *q* ſieht man ein Stanniolſtreifchen, welches von der amalgamirten Seite des Leders zur Feder *s* führt, von welcher

dann die Electricität auf die erwähnte Weise zu den Conductoren *o* geleitet wird.

Fig. 9 stellt das Reibzeug von der amalgamirten Seite des Leders angesehen dar, und zwar mit dem Wachstaffent. *t* ist eine einfache, *u* eine doppelte Lage von Wachstaffent.

Fig. 9.



Bei ausgezeichneter Wirksamkeit sind die Winter'schen Maschinen, wie man sieht, sehr einfach construirt.

Folgendes sind die Preise der Winter'schen Maschinen:

Scheibendimension	40″	Funkenlänge	22 — 24″	Preis	300	fl.	Conv.	M.
»	36″	»	20 — 22″	»	200	»	»	»
»	30″	»	16 — 18″	»	160	»	»	»
»	24″	»	12 — 14″	»	80	»	»	»
»	18″	»	9 — 10″	»	60	»	»	»
»	15″	»	7 — 9″	»	50	»	»	»
»	12″	»	5 — 7″	»	40	»	»	»
»	10″	»	4 — 5″	»	30	»	»	»
»	8″	»	3 — 4″	»	20	»	»	»
»	6″	»	2 — 3″	»	12	»	»	»

N. B. mit dazu gehörigem Funkenzieher.

Maschinen nach derselben Construction, gleich wirksam, aber weniger elegant ausgestattet:

Scheibendimension	18″	Preis	50	fl.	Conv.	M.
»	15″	»	40	»	»	»
»	12″	»	30	»	»	»
»	10″	»	20	»	»	»
»	8″	»	16	»	»	»
»	6″	»	10	»	»	»

Herr Winter hat es in der Anfertigung electrischer Apparate wirklich zu einer großen Virtuosität gebracht. Vielen elektrischen Versuchen und Spielereien hat er eine neue zweckmäßige Form zu geben gewußt.

Er hat Leidner Flaschen von außergewöhnlicher Schlagweite construirt, welche an einer anderen Stelle näher besprochen werden sollen.

Daß es ihm gelungen ist, auf eine Entfernung von 15600 Fuß mit Reibungselectricität zu telegraphiren und Pulver anzuzünden, beweist, wie sicher er mit seinen Apparaten experimentiren kann.

Ich habe mich in Wien selbst von der großen Wirksamkeit der Maschinen überzeugt, welche Herr Winter construirt. Mit der größten Bereitwilligkeit hat er mich auf meine Bitte, durch seine Mittheilungen in

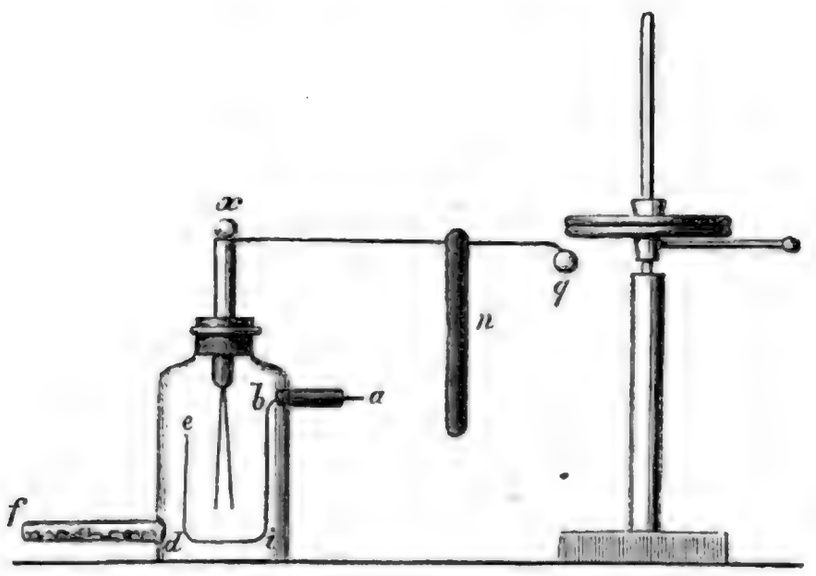
den Stand gesetzt, obige Beschreibung seiner Elektrisirmaschinen publiciren zu können.

Grüel in Berlin verfertigt Cylindermaschinen von eigenthümlicher Construction, die sehr wirksam seyn sollen, doch ist mir aus eigener Anschauung über ihre Wirksamkeit nichts bekannt, und Grüel's Preisverzeichniß giebt darüber keine Auskunft.

12 **Verbesserungen am Goldblattelektroscop.** An dem Goldblattelektroscop hat Andriessen eine Einrichtung angebracht, durch welche seine Empfindlichkeit und somit auch seine Brauchbarkeit sehr erhöht wird (P. A. LXII. 493).

Das Glasgefäß, in welchem die Goldblättchen hängen, ist ungefähr in der Höhe des Aufhängepunktes der Pendel durchbohrt und durch diese Oeffnung ein glatter Messingdraht *a b i d e* von ½ bis ¾ Linien Durchmesser eingesteckt und gehörig isolirt befestigt, der so gebogen ist, wie man es Fig. 10 sieht. Die Ebene, welche der Draht bildet, muß mit der

Fig. 10.



Bewegungsebene der Pendel zusammenfallen, so also, daß wenn die Pendel divergiren, das eine gegen *b i*, das andere gegen *e d* sich bewegt.

Die horizontale Entfernung von *b i* zu *d e* ist am passendsten 1¼ Zoll, die Länge der Goldblättchen 2″, ihre Breite möglichst gering, etwa 1‴. Die Entfernung ihres unteren Endes vom horizontalen Drahtstück *d i* ½ Zoll.

Theilt man dem Drahte Elektricität mit, z. B. die negative Elektricität eines auf Tuch geriebenen glatten Korkscheibchens, so divergiren die Blättchen, weil der Draht vertheilend wirkt und die + *E* in die Pendel herabzieht, während die abgestoßene — *E* in die Kugel *x* zurückgetrieben

wird. Die Divergenz der Blättchen nimmt noch etwas zu, wenn man den Knopf x ableitend berührt.

So ist nun der Apparat vorgerichtet, um die geringste Elektricitätsmenge noch anzeigen zu können; wird dem Knopfe x nur eine sehr geringe Elektricitätsmenge mitgetheilt, so werden die Blättchen je nach der Natur der mitgetheilten Elektricität entweder noch weiter divergiren oder zusammenfallen; sie fallen zusammen, wenn man dem isolirten pendeltragenden System — E mittheilt, sie gehen weiter auseinander, wenn ihm + E mitgetheilt wird.

Der Apparat ist empfindlich genug, um für den Volta'schen Fundamentalversuch ohne Condensator zu dienen.

Schraubt man statt der Kugel x eine Zinkplatte auf, deren obere Fläche mit Bimsteinpulver frisch abgerieben worden ist, setzt man auf diese eine ebenfalls gehörig präparirte Kupferplatte, so werden beim Aufheben der Kupferplatte die Pendel noch weiter auseinander gehen.

War umgekehrt die Kupferplatte aufgeschraubt, so werden die Pendel beim Aufheben der Zinkplatte zusammenfallen.

Andriessen macht die Bemerkung, daß ihm bei Anwendung eines Glockenelektroscops von gewöhnlichen Dimensionen, auch bei Anwendung des Inductionsdrahtes, die Versuche nie so gut gelangen, wie mit engen Gläsern; er nimmt deshalb zu seinen Versuchen gewöhnliche Gläser mit eingeriebenem Stöpsel, 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll weit und etwa 4″ Zoll hoch. Eine Erklärung dieser Erfahrung weiß er nicht zu geben.

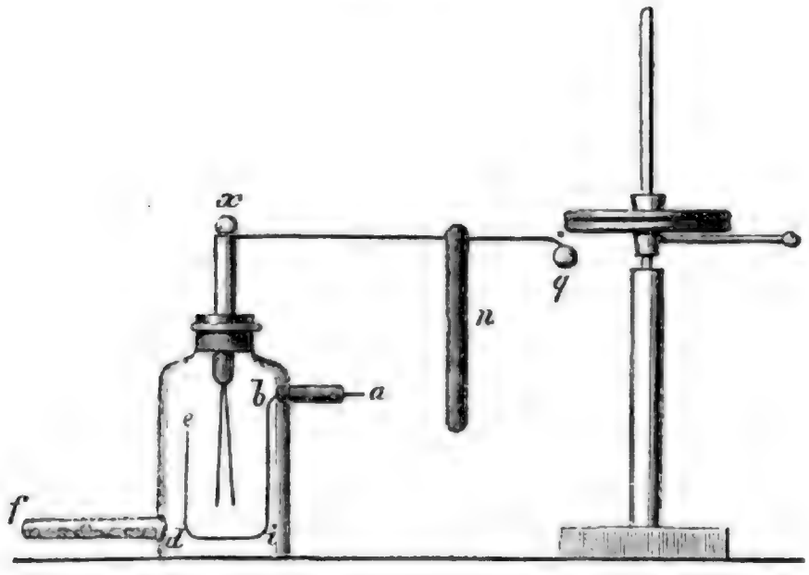
Von großer Wichtigkeit für das Gelingen der Versuche ist es, daß die Luft im Innern des Glasgefäßes vollkommen trocken sey; um dies zu erreichen, hat Andriessen an einer passenden Stelle des Gefäßes ein zweites Loch eingebohrt, und an dieses ein mit Chlorcalcium gefülltes Glasröhrchen f angekittet. — Wenn aber sonst überall die Oeffnungen wohl verkittet sind, so mögte es wohl genügen, wenn nur ein Stückchen Chlorcalcium im Gefäß selbst liegt.

Die Combination dieses Apparats mit dem Condensator führte zu eigenthümlichen Schwierigkeiten; ist nämlich statt der Kugel x eine Collectorplatte aufgeschraubt und die Condensatorplatte aufgesetzt, so wird bei ableitender Berührung der Condensatorplatte die Elektricität der Goldblättchen großentheils in die Collectorplatte heraufgezogen, so daß also die Pendel wieder weiter auseinander gehen, sobald die Condensatorplatte aufgehoben wird, wenn man auch der Collectorplatte nicht die mindeste Elektricität mitgetheilt hat.

Dieser Umstand macht die Anwendung des Condensators in der gewöhnlichen Weise durchaus unsicher. Andriessen vermied diese Schwierigkeit in folgender Weise.

Der Condensator ist nämlich nicht auf, sondern neben dem Elektroscop angebracht. Eine auf einem Brett befestigte innen und außen mit Schellack bekleidete Glasröhre trägt die Collectorplatte, wie man es Fig. 11 sieht.

Fig. 11.



Ist auf der Collectorplatte die Elektricität verdichtet, welche man nachweisen will, so wird die Condensatorplatte aufgehoben und dann die Collectorplatte, deren Elektricität jetzt frei ist, mittelst des Drahtes $x\,q$ mit dem Elektroscop in Verbindung gebracht.

Dieser Draht ist ein weicher Kupferdraht, welcher unter der Kugel x um den Draht gewunden ist, der die Pendel trägt; n ist ein Schellackstäbchen, welches an dem Drahte befestigt ist, mittelst dessen man das freie Ende q des Drahtes heben kann, um es mit der Collectorplatte in Berührung zu bringen.

13 **Verbesserungen an der Coulomb'schen Drehwage.** Nach Coulomb ist die elektrische Torsionswage nur von Wenigen benutzt worden, und zwar mit geringem Erfolge; es entstanden Klagen über die Unzuverlässigkeit des Instruments und über die schwierige Handhabung desselben; es verbreitete sich die Ansicht, daß es eines ganz ungewöhnlich geschickten Experimentators bedürfe, um brauchbare Resultate mit der Drehwage zu erhalten.

Rieß bekämpft diese Vorurtheile (P. A. LXXI. 359), er hat viel mit der Drehwage experimentirt und versichert, daß, wenn man nur auf die Construction des Instruments die nöthige Sorgfalt verwendet habe, daß alsdann seine Angaben nicht allein zuverlässig seyen, sondern daß auch die Anwendung desselben keineswegs eine besonders ausgezeichnete Beobachtungsgabe erfordere. Das Instrument, welches Rieß in dem citirten Aufsatze beschreibt, hat die Dimensionen der kleinsten Wage, die Cou-

lomb zu seinen Messungen gebraucht hat. Der untere Glascylinder hat 1 Fuß Durchmesser und 1 Fuß Höhe, die Röhre, in welcher der Metallfaden herabhängt, ist 15 Zoll lang. Die Rieß'sche Drehwage ist vollkommen nach dem Princip der Coulomb'schen construirt, nur sind noch einige Vorrichtungen angebracht, welche eine größere Genauigkeit der Beobachtung möglich machen; so wird die Stellung des beweglichen Armes mit dem Mikroscop beobachtet. — Um noch die feinsten Veränderungen in der Drehung des Metallfadens bewerkstelligen zu können, ist am Kopf des Apparates eine Mikrometerschraube angebracht, die sich mittelst eines herabgehenden Stabes drehen läßt, während man durch das Mikroscop die Stellung des beweglichen Balkens beobachtet. Auf diese Weise ist die genaueste Einstellung möglich. (Es wäre für den Mechaniker, der etwa ein solches Instrument machen soll, zu wünschen gewesen, daß von dem Kopf des Apparates auch ein Durchschnitt mitgetheilt worden wäre.)

Ist nun bei dieser Einrichtung möglichste Sorgfalt auf die Construction aller einzelnen Theile, namentlich aber auch darauf, daß der bewegliche Balken sowohl wie die Träger der in den Apparat einzubringenden Prüfungsscheibchen oder Kugeln möglichst vollkommen isoliren, so läßt sich eine große Genauigkeit der Messungen wohl erwarten; da jedoch die Drehwage ein Apparat ist, der sich zu Vorlesungsversuchen durchaus nicht eignet, ihr Princip aber hinlänglich bekannt ist, hat die detaillirtere Beschreibung des Instrumentes nicht für einen größeren Kreis, sondern nur für diejenigen ein Interesse, die sich selbst mit Messungen elektrischer Dichtigkeiten praktisch beschäftigen. Ich halte deshalb ein weiteres Eingehen in diesen Gegenstand nicht für nöthig.

In Beziehung auf Beobachtungsmethode und Berechnung der Resultate ist noch einiges aus der Abhandlung von Rieß anzuführen.

Um das Verhältniß zweier elektrischer Dichtigkeiten zu a und b zu bestimmen, die gleichzeitig an zwei Stellen eines Leiters oder auf zwei Leitern vorhanden sind, macht Coulomb eine ganze Reihe von Messungen (gewöhnlich 5), abwechselnd für die eine und für die andere Stelle und zwar in möglichst gleichen Zwischenräumen. Auf diese Weise erhält er für die erste Stelle drei Dichtigkeiten (durch Torsionswinkel bei gleicher Elongation des Wagbalkens gemessen) a, a' und a''; und 2 Werthe für die Dichtigkeit an der andern Stelle, nämlich b und b'. Die Messung von b liegt der Zeit nach in der Mitte zwischen a und a'; ferner liegt a' der Zeit nach in der Mitte zwischen b und b', es läßt sich also das Mittel zwischen a und a' als nahezu gleichzeitig vergleichen mit b; das Mittel zwischen b und b' mit a' u. s. w. Das gesuchte Verhältniß der beiden Dichtigkeiten ist also ausgedrückt durch $\frac{\frac{1}{2}(a+a')}{b}$ oder durch $\frac{a'}{\frac{1}{2}(b+b')}$

oder durch $\frac{\frac{1}{2}(a' + a'')}{b'}$. Das Mittel aus dieſen drei Werthen wird dann für das wahre Verhältniß $\frac{a}{b}$ der beiden Dichtigkeiten genommen. Dieſe Methode erfordert große Geſchicklichkeit, denn es iſt nicht leicht, immer in gleichen Zwiſchenräumen abwechſelnd eine Meſſung der elektriſchen Dichtigkeit der einen und dann wieder der andern Stelle zu machen; ferner kann ſie keine richtigen Reſultate geben, wenn die beiden zu unterſuchenden Stellen auf zwei verſchiedenen Körpern liegen, von denen einer ſeine Elektricität raſcher verliert als der andere, denn alsdann ändert ſich das Verhältniß der beiden Dichtigkeiten von einem Moment zum andern, die drei Quotienten ſind demnach durchaus nicht drei Werthe derſelben Größe, welche nur in Folge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler verſchieden ſind, ſondern drei weſentlich verſchiedene Größen, das Mittel aus den Werthen der drei Quotienten giebt uns alſo durchaus nicht das wahre Verhältniß der beiden elektriſchen Dichtigkeiten in einem beſtimmten Moment.

Endlich iſt dieſe Methode in ſolchen Fällen gar nicht anwendbar, in welchen man dieſelbe Dichtigkeit nicht zweimal beſtimmen kann, wo das Auftreten der Dichtigkeit b es erfordert, daß die Dichtigkeit a nicht mehr vorhanden ſey und ein Zurückgehen auf a nicht mehr möglich iſt.

Rieß bringt nun folgende Beobachtungsmethode mit Erfolg in Anwendung. Mit zwei Prüfungskugeln, welche vollkommen gleich ſind, und deren Stiele gleich gut iſoliren, werden die beiden elektriſchen Stellen gleichzeitig oder doch ſo raſch nach einander berührt, daß man die Berührung als gleichzeitig betrachten kann. Die eine Prüfungskugel wird nun in eine weite Glasglocke, die andere in die Torſionswage gebracht. — Nachdem die Meſſung der Torſion für die erſte eingebrachte Prüfungskugel vollendet iſt, wird nun dieſe entfernt und die zweite, einſtweilen in der Glasglocke aufbewahrte Prüfungskugel in die Drehwage gebracht, die entſprechende Torſion (bei gleicher Elongation) gemeſſen. Die Momente der beiden Einſtellungen werden an einer Sekundenuhr bemerkt. Nun wird die Torſion um einige Grade vermindert, wodurch natürlich die Elongation etwas wächſt, und beobachtet, wie lange es dauert, bis der Wagbalken wieder an ſeiner frühern Stelle einſteht.

Ein Beiſpiel mag dieſe Beobachtungsweiſe erläutern. Man habe mit den beiden Prüfungskugeln I und II die Stellen berührt, deren elektriſche Dichtigkeit man vergleichen will.

I in die Torſionswage gebracht, erfordert eine Torſion von 55,5°, damit der Wagbalken eine beſtimmte Stellung einnimmt, alſo um eine beſtimmte Gradzahl abgelenkt iſt.

Nun wird II in die Drehwage gebracht. Damit der Wagbalken genau

dieselbe Ablenkung erhalte, also genau wieder an derselben Stelle stehe, wie vorher, muß man nun dem Faden eine Torsion von 293,5° geben.

Zwischen der ersten und zweiten Einstellung ist eine Zeit von 3,1 Minuten verflossen.

Nun wird die Torsion um 20°, also auf 273,5° vermindert, und es dauert, von der zweiten Einstellung an gerechnet, 3,2 Minuten, bis der Wagbalken wieder an seiner alten Stelle ankommt.

Gehn wir nun zur Berechnung dieser Resultate über. — In 3,2 Minuten hat die Prüfungskugel Nro. II eine Elektricitätsmenge verloren, welche durch eine Torsion von 20° gemessen wird; wäre nun der elektrische Verlust nur der Zeit proportional, so würde der Elektricitätsverlust der Kugel II zwischen der ersten und zweiten Einstellung $\frac{3,1}{3,2} . 20 = 19,4^{\circ}$ betragen, der elektrische Verlust ist aber nicht allein der Zeit, sondern auch der elektrischen Dichtigkeit proportional, die in den beiden Zeitabschnitten nicht gleich ist. Ohne merklichen Fehler kann man annehmen, daß sich die elektrische Dichtigkeit auf der Kugel II in dem ersten Zeitabschnitte zu der im zweiten verhält wie 293,5 zu 273,5; demnach wäre also der elektrische Verlust der Kugel II in dem ersten Zeitabschnitte (d. h. zwischen der ersten und zweiten Beobachtung) $19,4 . \frac{293,5}{273,5} = 20,8^{\circ}$. In dem Augenblicke, in welchem die elektrische Ladung der Prüfungskugel I in der Torsionswage gemessen wurde, war also die elektrische Ladung der Prüfungskugel II gleich $293,5 + 20,8 = 314,3^{\circ}$. Das gesuchte Verhältniß der beiden Elektricitätsmengen ist also $\frac{55,5}{314,3} = 0,179$.

Bezeichnen wir mit a die erste gemessene Torsion, mit b die zweite, mit c die Anzahl Grade, um welche man nach der zweiten Messung die Torsion vermindert hat; ferner mit t und t' die beiden Zeitintervallen, so ist die Dichtigkeit der Elektricität auf der Kugel II in dem Moment, in welchem die Torsion a gemessen wurde, gleich

$$b + c . \frac{t . b}{t' (b - c)} \qquad \ldots . (1)$$

Es sey z. B. $a = 67^{\circ}$
$b = 369^{\circ}$
$c = 20^{\circ}$
$t = 3,7'$
$t' = 2,5'$

so ist also in dem Moment, in welchem die Dichtigkeit a gemessen wird, die elektrische Dichtigkeit auf der andern Prüfungskugel

$$369 + 20 \cdot \frac{3{,}7}{2{,}5} \cdot \frac{369}{349} = 369 + 31{,}3^0 = 400{,}3$$

und das gesuchte Verhältniß der beiden Dichtigkeiten

$$\frac{67}{400{,}3} = 0{,}167.$$

Rieß berechnet die Resultate dieser Beobachtungsmethode »mit gepaarten Prüfungskörpern« nicht nach der Formel (1), welche allerdings nur eine Näherungsformel ist, sondern nach einer andern Näherungsformel, deren Ableitung aber keineswegs elementar und übersichtlich genannt werden kann. Die Resultate der Rechnung nach Formel (1) stimmen jedoch so sehr mit den Rieß'schen Rechnungsresultaten überein, daß die Anwendung der Formel (1) wohl keinen Anstand haben wird.

Für das erste der obigen beiden Beispiele z. B. stimmen die Rechnungsresultate nach beiden Formeln vollkommen überein, bei dem zweiten Beispiele ergiebt sich nach Rieß der Werth $400{,}8^0$, wo wir $400{,}3^0$ gefunden hatten, was auf den gesuchten Quotienten gar keinen Einfluß hat.

14 **Elektroscope, in welchen das Princip der Drehwage in Anwendung gebracht ist.** Im LIIIten Bande von Poggendorf's Annalen findet sich die Beschreibung von zwei Eletkrometern oder vielmehr Elektroscopen, welche man gewissermaßen als kleine Drehwagen betrachten kann; das erstere von Dellmann (Seite 606), das letztere von Oersted (Seite 612).

Fig. 12.

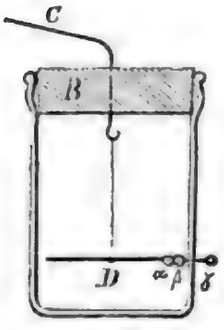


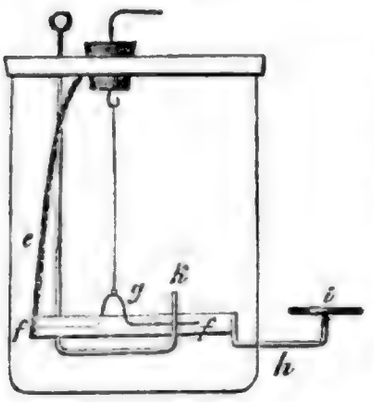
Fig. 12 stellt das Dellmann'sche Instrument dar. Die Oeffnung eines weißen Einmachglases von 8 bis 10 Zoll Höhe ist oben mit einem Korkstück B verschlossen. Durch dieses Korkstück ist ein ziemlich steifer Draht C gesteckt, welcher unten in ein Häkchen endet, in dem ein Coconfaden hängt. Der Coconfaden trägt ein Schellackstäbchen D, an dessen einem Ende ein kleines Hollundermarkkügelchen α befestigt ist (durch Drücken mit reinen Fingern kann man ihm leicht alle Ecken nehmen).

Bei α ist das Glas durchbohrt und in das Loch eine Stecknadel $\beta\gamma$ mit Schellack befestigt, und zwar mit dem Knopfe γ nach außen; inwendig steckt auf der Spitze der Nadel das Hollundermarkkügelchen β, so daß aber die Spitze nicht aus dem Kügelchen hervorragt. Man schiebt nun so lange an dem Drahte C auf und ab, bis α und β sich in gleicher Höhe befinden; darauf dreht man dann den Draht C um seine Axe ein oder ein Paar Mal um, so daß das Kügelchen α sich vermöge der Elasticität des Conconfadens dicht an das Kügelchen β anlegt.

Dellmann hat später die Construction seines Instrumentes noch ver-

ändert und es dadurch noch weit empfindlicher gemacht. Fig. 13 stellt das

Fig. 13.



Dellmann'sche Elektroscop in seiner neueren Gestalt dar (P. A. LVIII. 49). Der drehbare Hebel g besteht aus einem leichten Metalldrahte, welcher in der Mitte so gebogen ist, daß sich die eine Hälfte des Wagbalkens auf die rechte, die andere Hälfte auf der linken Seite des Metallstreifchens f anlegen kann. Dieses Streifchen f, durch die Mitte des Apparates ausgespannt, ist einerseits an dem Zuleitungsdrahte h, andrerseits an dem Drahte e befestigt.

Theilt man den Zuleitungsdraht (auf den man eine Platte, etwa eine Condensatorplatte, aufschrauben kann) Elektricität mit, so wird diese zum Theil auf den durch die Torsion des Fadens an dem Streifchen f angelegten Wagbalken g übergehn und dieser also abgestoßen werden. —

Der eine vertikale Arm des Drahtes k, dessen horizontales Stück einen Winkel von nahezu 90° mit der Richtung des Streifchens f macht, befindet sich auf der rechten, der andere vertikale Arm auf der linken Seite des beweglichen Hebels. Dellmann nennt diesen Draht, dem man von oben her Elektricität mittheilen kann, und dessen Function dieselbe ist, wie die des Drahtes im Elektrometer von Andrieſſen, den Querdraht. Wird dem Querdraht Elektricität mitgetheilt, so dreht sich alsbald der bewegliche Hebel g und bleibt in einer neuen Gleichgewichtslage stehen. Er bewegt sich aber nach der einen oder nach der andern Seite, je nachdem man den Zuleitungsdraht h Elektricität der einen oder andern Art mittheilt. Es ist begreiflich, daß der Apparat in dieser Gestalt außerordentlich empfindlich seyn muß; jedoch ist es sehr lästig, daß der am Coconfaden hängende Wagbalken durch das geringste Anstoßen schon in Schwankungen geräth.

Der angeführte Aufsatz in Poggendorff's Annalen, in welchem Dellmann die neuere Form seines Elektroscops bespricht, ist etwas confus geschrieben. Eine eigentliche Beschreibung des Apparates, eine Angabe, wie er anzuwenden ist, findet sich nicht; es wird von den zweckmäßigsten Dimensionen des Streifchens, von der besten Stellung des Querdrahts gesprochen, ohne daß Querdraht und Streifchen vorher irgendwie eingeführt worden wären. Offenbar setzt Dellmann hier schon vieles als bekannt voraus, was es wenigstens für die Mehrzahl der Leser nicht ist. —

Die Art und Weise, wie das Streifchen f hier befestigt wird, ist offenbar etwas ungeschickt. Romershauſen hat dieß sehr zweckmäßig abgeändert. Der Wagebalken aus unächtem Goldlahn bleibt gerade, dagegen ist der Metallstreifen f in der Mitte mit einem Bogen versehen, wie man

Fig. 14.

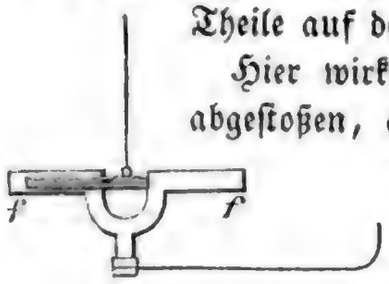
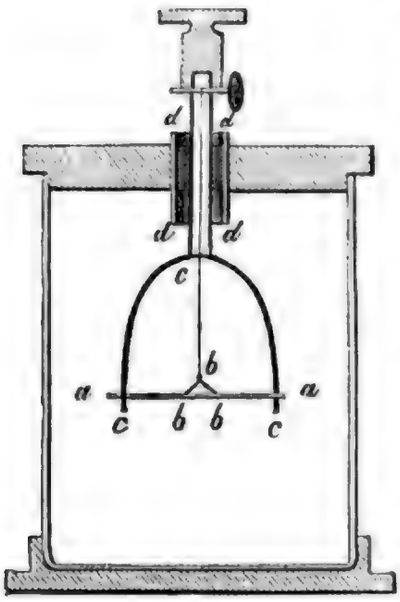


Fig. 14 ſieht. Der Metallſtreifen iſt mit ſeinem mittleren Theile auf dem Zuleitungsdrahte befeſtigt.

Hier wirkt die Kraft, mit welcher der bewegliche Balken abgeſtoßen, alſo um ſeine Axe gedreht wird, der Torſion des Coconfadens entgegen; beim Oerſted'ſchen Elektrometer iſt es dagegen der Magnetismus eines kleinen Eiſendrahtes, welcher den Balken in einer beſtimmten Stellung zu erhalten ſtrebt.

Das Weſentliche der Oerſted'ſchen Conſtruction iſt aus Fig. 15 ($^1/_2$ der natürlichen Größe) erſichtlich. Im Deckel eines Glasgefäßes ſteckt eine Glasröhre *d d*, in welcher durch Schellack gehörig iſolirt eine Metallröhre befeſtigt iſt, die unten in zwei gebogene Arme *c c* ausläuft. In der Mitte dieſes Röhrchens hängt der Coconfaden herab, welcher den beweglichen Stab *a a* trägt, der aus einem dünnen Meſſingdrahte beſteht. *b b* iſt ein Bügel von ſehr dünnem Eiſendraht, der einen ſehr ſchwachen Magnetismus haben muß, durch welchen der Balken ſo gegen die Meſſingarme *c c* angelegt wird, daß das eine Ende von *c c* die linke, das andere Ende die rechte Seite des Stäbchens *a a* berührt. Indem der Metallbogen *c c* von oben her Elektricität empfängt, geht dieſe zugleich auf den Wagbalken *a a* über, und erzeugt eine Drehung deſſelben. Wenn die magnetiſche Richtkraft des Eiſenbügels ſehr gering iſt, ſo zeigt das Elektrometer ſehr große Empfindlichkeit. Um ſchwache elektriſche Wirkungen zu entdecken, theilt man dem Inſtrumente zuerſt etwas Elektricität mit, durch welche der Balken um einige Grade gedreht wird. Ein Körper, welcher dieſelbe Art von Elektricität beſitzt, bringt dann, wenn er genähert wird, eine bedeutende Vergrößerung der Abweichung hervor. Die Elektricität, welche iſolirte Zink- und Kupferplatten nach der Berührung und Aufhebung zeigen, wird auf dieſe Weiſe ohne Hülfe des Condenſators ſehr wahrnehmbar. — Auch mit dem Dellmann'ſchen Inſtrumente läßt ſich der Volta'ſche Fundamentalverſuch ohne Condenſator anſtellen.

Fig. 15.



Oerſted hat an ſeinem Inſtrumente noch eine Theilung angebracht, um den Ablenkungswinkel zu meſſen, ein Mikroſcop, um die Stellung des Balkens beſſer zu beobachten u. ſ. w. Ich habe dies weggelaſſen, weil es hier nur darauf ankommt, das Princip des Inſtruments verſtändlich zu machen. Oerſted ſelbſt hat das Inſtrument nur als Elektroſcop angewendet.

Kohlrausch hat das Dellmann'sche Elektroscop in ein Elektrometer verwandelt. (P. A. LXXII. 353). Er brachte unter dem drehbaren Hebel einen Theilkreis an, um die Ablenkungswinkel ablesen und einen zweiten oben an dem Aufhängring des Fadens, um die Torsion desselben bestimmen zu können. Statt des Coconfadens wandte er einen feinen Glasfaden an, weil dessen Torsionskraft zuverlässiger ist.

Dellmann's Instrument hatte den großen Vorzug, mit wenig Mitteln herstellbar zu seyn, so daß jeder, der nur einige Geschicklichkeit hat, sich ein solches Instrument machen kann. Diesen Vorzug des Dellmann'schen Elektroscops hat Kohlrausch ganz und gar aufgegeben, denn das von ihm angegebene Instrument kann nur durch die Hand eines geschickten Mechanikers hergestellt werden. Dagegen ist nun freilich nichts einzuwenden, wenn der Apparat in dieser Form Vortheile gewährt, welche sich auf einfachere Weise nicht erreichen lassen. — Nach Kohlrausch's Angaben soll sein Elektrometer zu genauen Messungen noch in Fällen dienen, für welche die Coulomb'sche Drehwage schon zu unempfindlich ist. Ein bestimmtes Urtheil über den Werth des Elektrometers von Kohlrausch kann ich schon deshalb nicht abgeben, weil ich mit demselben nicht experimentirt habe, ich kann nicht behaupten, ob die Leistungen desselben mit dem Aufwande im Verhältniß stehen, welcher auf seine Herstellung verwendet werden muß. Mir scheint das Instrument allerdings etwas zu complicirt. Ob diese Ansicht gegründet ist, muß ich dem Urtheile derjenigen überlassen, die mit diesem Apparate praktisch gearbeitet haben. Die Resultate, welche Kohlrausch in seiner Abhandlung anführt, sprechen allerdings sehr zu Gunsten seines Instrumentes.

Bei allen elektrostatischen Messungen ist wohl gewiß die bedeutendste Fehlerquelle ein allmäliger Verlust an elektrischer Ladung in der vertheilenden Wirkung, welche der geladene Körper auf benachbarte ausübt u. s. w., zu suchen. Die Unsicherheiten, welche aus diesen Quellen entspringen, sind gewiß weit größer, als die Beobachtungsfehler, welche man beim Einstellen und Ablesen begeht. Von diesem Gesichtspunkte erscheint es überflüssig, an Elektrometern aller Art einen großen Aufwand auf Theilungen, Mikroscope u. s. w. zu verwenden.

In der erwähnten Abhandlung spricht Kohlrausch den sehr guten Gedanken aus, die elektroscopische Kraft der Volta'schen Säule zu einem brauchbaren Maaße für Reibungselektricität, oder vielmehr zur Vergleichung verschiedener Elektrometer zu benutzen.

Eine Säule von einer bestimmten Anzahl von Elementen, welche aus zusammengelötheten Streifen von Zink und Kupfer besteht, die in Gläschen mit destillirtem Wasser eintauchen, wird, wenn der eine Pol vollkommen abgeleitet ist, am andern stets dieselbe Spannung besitzen, also sehr

wohl zur Vergleichung verschiedener Elektrometer dienen können. Bei längerer (über eine Woche dauernder) Eintauchung nimmt die Spannung allerdings ab, weil sich das Zink mit Oxydul überzieht, man erhält aber die ursprüngliche Spannung wieder, wenn man nur mit einem Feilstrich das Metall wieder bloslegt.

Kohlrausch erhielt von dem Pole einer solchen Säule an seinem Instrumente während einer ganzen Woche stets den Ausschlag von 52 bis 53 Graden; nach 4 Wochen war der Ausschlag auf 46° gefallen, erreichte aber alsbald die ursprüngliche Größe, als das Metall wieder durch Feilstriche gereinigt wurde.

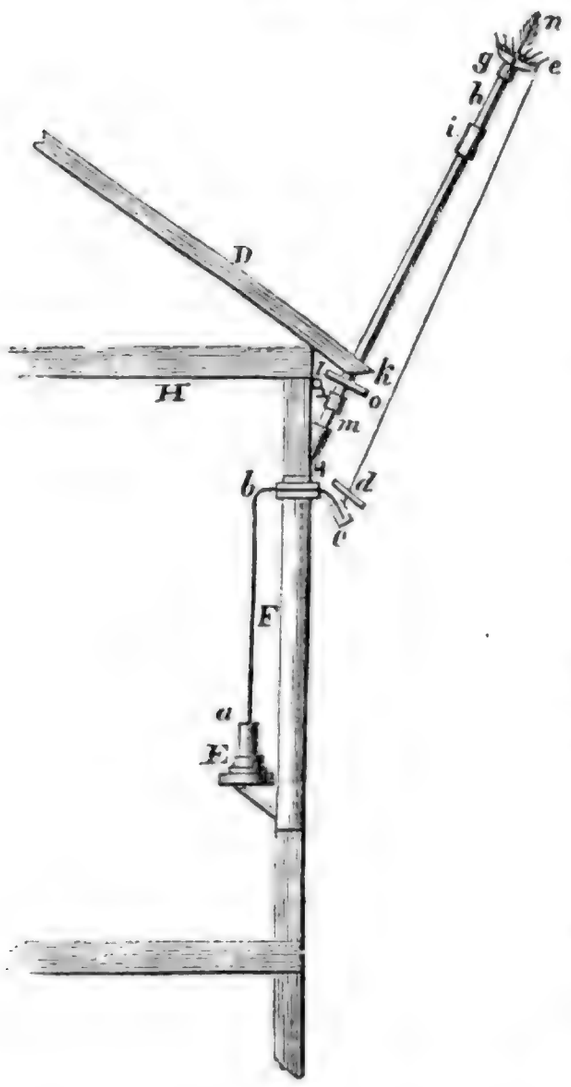
15 **Petrina's Elektroscop.** Petrina hat ein Elektroscop construirt, in welchem er die trockne Säule durch ein Elektrophor ersetzt. (Neue Theorie des Elektrophors und ein neues Harzkuchen-Elektroscop von Dr. Franz Petrina, aus den Abhandlungen der königl. Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften. V. Folge, Bd. 4, besonders abgedruckt. Prag 1846.) Das Goldblättchen hängt zwischen zwei Metallscheibchen, von denen das eine mit dem Deckel, das andere mit der isolirten Form eines kleinen Harzkuchen-Elektrophors in leitender Verbindung steht; durch eine besondere Vorrichtung kann die Form mit dem Kuchen gesenkt werden, wodurch dann das eine Scheibchen (das mit dem Deckel verbundene) eine positive, das andere eine negative Ladung erhält, so daß die beiden Scheibchen hier dieselbe Rolle spielen, wie die Polplatten der trocknen Säule im Bohnenberger'schen Elektrometer.

Es ist dies in der That eine recht sinnreiche Anwendung des Elektrophors und, wenn wir das Säulen-Electrometer nicht besäßen, so würden wir das Harzkuchen-Elektroscop als eine wichtige Bereicherung des elektrischen Apparates begrüßen; ob aber dies Instrument neben dem Säulen-Elektrometer eine praktische Bedeutung erlangen wird, möchte ich sehr bezweifeln. Petrina meint zwar, es sey leichter zu construiren, weil es leichter ist, einen guten Harzkuchen zu verfertigen, als eine gute Zamboni'sche Säule, allein die Vorrichtung zum Heben und Senken des Tellers sammt Harzkuchen mag wohl den Unterschied wieder ausgleichen. Der einzige reelle Vortheil des Petrina'schen Apparates dürfte wohl nur der seyn, daß er nie durch Kraftverlust unbrauchbar werden kann, weil der Kuchen, wenn er schwach werden sollte, immer wieder elektrisch gemacht werden kann.

Was den übrigen Inhalt der Abhandlung von Petrina betrifft, so müßte er an einer andern Stelle besprochen werden, ich werde jedoch nicht weiter darauf zurückkommen, weil es sich hier nicht um neue Thatsachen handelt, sondern um Ansichten, deren Richtigkeit noch sehr problematisch ist.

16 **Beobachtung der atmosphärischen Elektricität.** Romershausen hat einen Apparat zur Beobachtung der atmosphärischen Electricität

Fig. 16.



construirt, dessen Einrichtung aus Fig. 16 ersichtlich ist. (P. A. LXIX, 71).

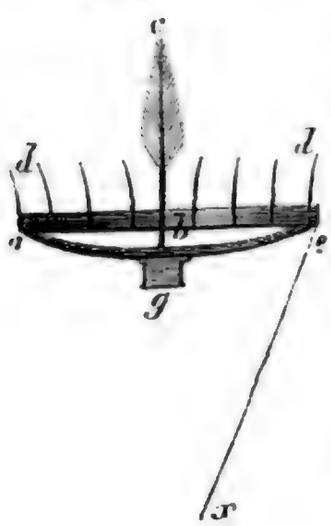
Fig. 16 zeigt die Anbringung der Auffangvorrichtung an jeder beliebigen Wohnung und für jedes Stockwerk derselben.

H das Haus, dessen Dach *D* ohne Nachtheil die Auffangsvorrichtung überragen kann. *F* irgend ein Fenster des Wohnzimmers eines Beobachters.

m n die Auffangstange in gewöhnlicher Construction. Sie ruht oberhalb des Fensters in einem starken eisernen Schuh *m* und wird, vermittelst eines einzuhängenden Hakens *l*, in einem Einschnitt *k* des Daches leicht und sicher befestigt. Sie ragt seitwärts vom Haus in das Freie hinaus und hat folgende besondere Einrichtung.

Die etwa 10 bis 12 Fuß lange Stange von lackirtem Tannenholze, ist bei *i* mit einer Messinghülse versehen, in welche der massive, mit Schellack überzogene $1\frac{1}{2}$ Fuß lange Glasstab *h* eingekittet ist. Dieser trägt alsdann oberhalb die Auffangsvorrichtung *g n*.

Fig. 17.

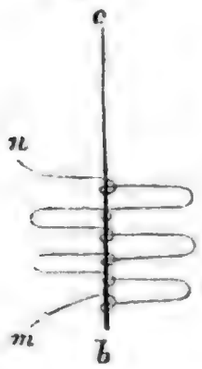


Zu mehrerer Deutlichkeit ist diese Auffangsvorrichtung in Fig. 17 größer und im Durchschnitt gezeichnet. *a e* ist ein 5 Zoll im Durchmesser haltender flacher Kupferring, an welchen im Innern die kupfernen, galvanisch vergoldeten und nach oben fein zugespitzten Auffangsdrähte *dd* angelöthet sind, so daß sie, etwas nach Außen gebogen, gleichsam eine Krone bilden. Eine im Durchmesser derselben angebrachte und etwas nach unten gebogene Kupferschiene trägt unterhalb die Hülse *g* zur Befestigung auf der Glasstange *h*, und oberhalb ist eine höhere Drahtspitze *b c* eingelöthet. Diese Drahtspitze ist das wichtigste der ganzen Vorrichtung, da sie allein,

nach ſicherer Erfahrung, die feinſten Nüancen der atmoſphäriſchen Elektricität bemerklich macht. Ihre Conſtruction iſt folgende.

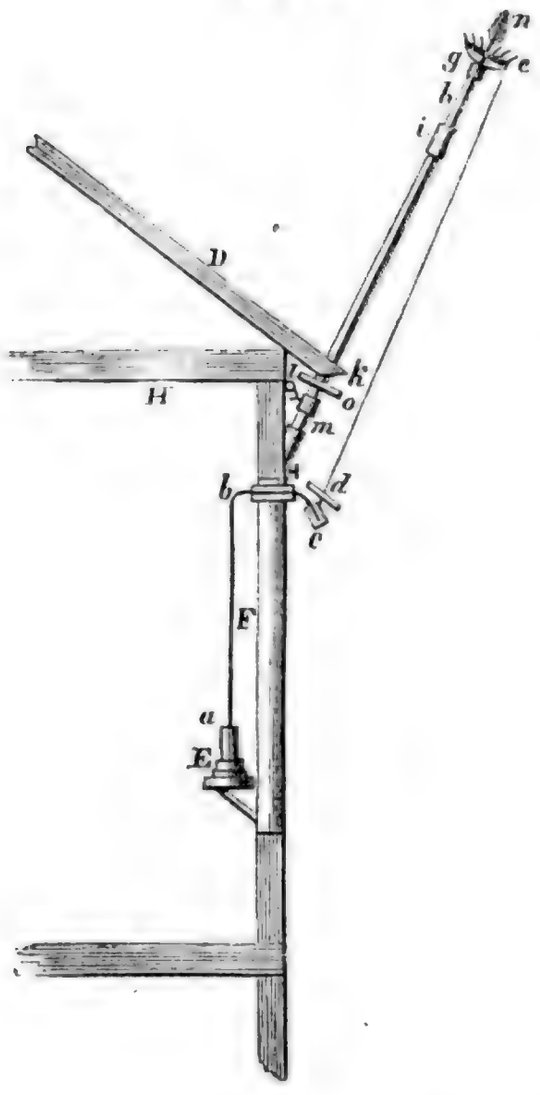
Der oben fein zugeſpitzte und vergoldete, etwa eine Pariſer Linie im Durchmeſſer haltende Kupferdraht iſt ringsum mit den feinſten haarförmigen Platinſpitzen umgeben und wird am leichteſten auf folgende Art verfertigt: Der Draht wird, ſo weit die Platinſpitzen reichen, mit Zinnloth überzogen, alsdann in der Art, wie Fig. 18 verdeutlicht, mit dem feinſten Platindraht umwunden und die Windungen über einer Spirituslampe eingeſchmolzen. Die Schleifen werden alsdann aufgeſchnitten und nach Anſicht der Fig. 17 ringsum geordnet.

Fig. 18.



Der Leitungsdraht *de*, Fig. 19, von Kupfer, wird bei *e* an den Kupferring angelöthet, bei *d* erhält derſelbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt. (Ein gleiches iſt bei *o* an der Stange angebracht.) An den Leitungsdraht *ed* iſt ſodann unten bei *c* eine kleine gut paſſende Kupferhülſe, in angegebener Richtung, zum Einhaken an die aus dem Zimmer kommende Drahtleitung angelöthet. Der Fenſterrahm iſt in der obern Ecke durchbohrt, um den in einer Glasröhre mit Schellack wohl eingekitteten Leitungsdraht zu befeſtigen und vollſtändig iſolirt in das Zimmer zu führen. Bei *b* iſt derſelbe nach *a* herabgebogen und mit dem ſeitwärts vom Fenſter und außer der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenſtrahlen angebrachten Elektrometer *E* verbunden.

Fig. 19.



Romershauſen wendet zwei Elektrometer an, welche auf demſelben Käſtchen ſtehen, nämlich ein Säulen-Elektrometer und ein nach dem Dellmann'ſchen Princip conſtruirtes, deſſen Haupttheil bereits Seite 29 beſprochen wurde.

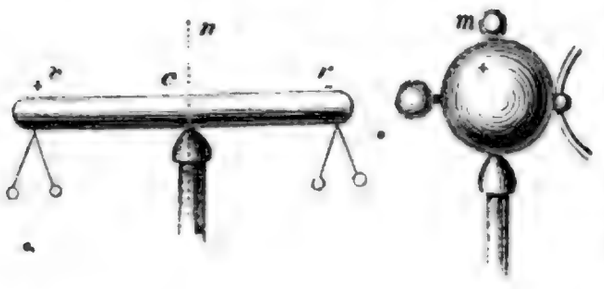
Zweiter Abſchnitt.

Vertheilung und Bindung der Elektricität.

Einleitung. Die Art und Weiſe, wie Biot die Vertheilung der 17
Elektricität auf einem iſolirten Leiter nachgewieſen hat, dem ein elektriſcher Körper genähert wird, könnte wohl genügen, um jeden Zweifel über das Weſen der Vertheilung und Bindung der Elektricität zu heben; dennoch hat ſich über dieſen Gegenſtand, durch Pfaff's Einwendungen veranlaßt, ein Streit erhoben.

Das Geſchichtliche darüber findet ſich im zweiten Bande von Dove's Repertorium Seite 29

Fig. 20.

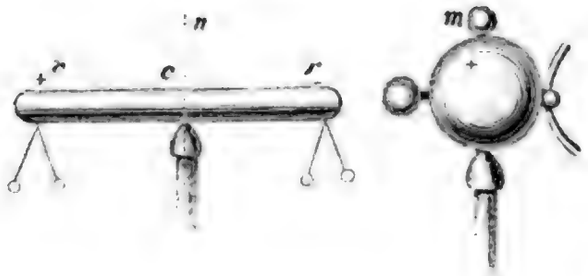


Nähert man einem etwa poſitiv geladenen Körper *m*, Fig. 20, einen iſolirten Conductor *c*, ſo wird *c* bekanntlich durch Vertheilung elektriſch; auf dem gegen *m* gerichteten Ende findet ſich die angezogene $-E$, am entgegengeſetzten Ende die abgeſtoßene $+E$, wie man dieß durch das Probeſcheibchen nachweiſen kann.

Berührt man den iſolirten Conductor, ſo kann man die abgeſtoßene Elektricität ableiten, während die von *m* angezogene Elektricität auf *c* gebunden zurückbleibt.

Pfaff behauptet nun, daß dieſe gebundene Elektricität durchaus nicht nach außen hin wirken könne, während Biot dieſe freie Wirkung dadurch nachgewieſen hatte, daß er an beide Enden des Conductors elektriſche Pendel aufhing, die an dem einen Ende mit der angezogenen, an dem andern Ende mit der abgeſtoßenen Elektricität divergiren. Berührt man den

Fig. 21.

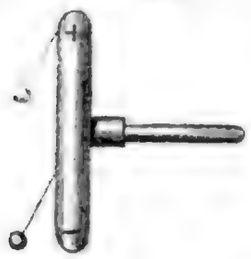


Conductor, ſo fällt das entferntere Pendelpaar zuſammen, während die Bewegung des zunächſt bei *m* hängenden Pendelpaares zunimmt.

Obgleich dieſer Verſuch bei einiger Vorſicht, namentlich wenn *m* nicht zu ſtark geladen iſt, nicht leicht mißlingt, ſo iſt es doch mehreren Beobachtern nicht gelungen, ihn rein darzuſtellen, wodurch wohl der ganze Streit über die Natur der gebundenen Elektricität entſtanden ſeyn mag. Das Mißliche des Verſuchs entſteht, wie Rieß richtig bemerkt, dadurch, daß die Elektricität des vertheilenden Körpers rechtwinklig gegen die elektroſcopiſchen Pendel wirkt und ſie von ihrer perpendiculären Stellung ablenkt.

Rieß hat dieſen Uebelſtand durch folgende Anordnung des Verſuchs vermieden. Ein ungefähr 5 Zoll langer und 3 Linien dicker Metallſtab mit abgerundeten Enden iſt in ſeiner Mitte an einem iſolirenden Handgriff befeſtigt, wie Fig. 22 zeigt, und wird vermittelſt dieſes Handgriffs in vertikaler Stellung gehalten. Oben und unten iſt er mit einer an einem Leinenfaden hängenden Hollundermark-Kugel verſehen.

Fig. 22.



Nähert man von unten her einen elektriſchen Körper, ſo werden beide Kugeln abgeſtoßen. Nehmen wir an, der von unten genäherte Körper ſey + electriſch, ſo divergirt das obere Pendel mit + *E*, das untere mit — *E*, wie ſich leicht durch Annäherung einer geriebenen Glas- oder Siegellackſtange zeigen kann.

Wird nun der Stab ableitend berührt, ſo fällt das obere Pendel zuſammen, während die Divergenz des untern wächſt.

Am untern Ende des Stabes befindet ſich jetzt nur gebundene — *E*, eben ſo in der unteren Kugel; die Elektricität des unteren Stabendes wirkt alſo, obgleich ſie gebunden iſt, abſtoßend auf die gleichnamige gleichfalls gebundene Elektricität der Kugel; die gebundene Elektricität wirkt alſo frei in die Ferne ganz eben ſo, als ob ſie nicht gebunden ſey.

Die Divergenz des unteren Pendels beweiſt, daß ſich die Theilchen der gebundenen Elektricität unter einander gerade eben ſo abſtoßen, wie dies bei der nicht gebundenen Elektricität der Fall iſt, folglich kommt der gebundenen Elektricität das Propagationsvermögen eben ſo zu, wie der freien, und wenn man die gebundene Elektricität durch leitende Verbindung mit

dem Boden nicht abführen kann, so liegt dieß nicht darin, daß die gebundene Elektricität kein Propagationsvermögen hat, sondern darin, daß sie durch die Anziehung der entgegengesetzten Elektricität auf dem vertheilenden und bindenden Körper zurückgehalten wird. Der gebundenen Elektricität das Propagationsvermögen absprechen, heißt ungefähr eben so viel, als wenn man behaupten wollte, ein Stein, der auf dem Boden liegt, habe eben dadurch seine Fähigkeit zu fallen verloren.

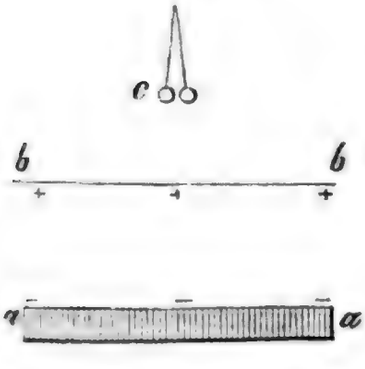
Durch den Rieß'schen Versuch ist nun gegen allen Widerspruch bewiesen, daß die gebundene Elektricität ganz eben so in die Ferne wirkt, als ob sie nicht gebunden wäre. Wenn ein elektrischer Körper *a* die entgegengesetzte Elektricität auf einem mit dem Boden in leitende Verbindung gebrachten Leiter *b* gebunden hat, so wirkt auf irgend einen in der Nähe befindlichen Punkt *c* sowohl die Elektricität von *a* als auch die von *b*, weil aber *a* und *b* mit entgegengesetzter Elektricität geladen sind, so kann in *c* nur die Differenz ihrer Wirkungen beobachtet werden.

Fig. 23.

Nachdem man nun durch den Rieß'schen Versuch die besprochene Frage wohl als abgemacht betrachten konnte, erhebt Knochenhauer abermals neue Bedenken (P. A. XLVII. 444).

Er machte nämlich einen Harzkuchen elektrisch, spannte über ihn in beliebigen Abständen ein Stanniolblatt aus und nahm durch Berührung desselben mit dem Finger die freie negative Elektricität fort. Nähert man diesen Apparat, welcher Fig. 24 schematisch dargestellt ist, von unten zweien an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkügelchen, so zeigt sich auf keinerlei Weise eine Divergenz derselben, welches auch die Entfernung des Pendels von dem durch gebundene $+ E$ geladenen Stanniolblatte seyn mogte.

Fig. 24.



Knochenhauer folgert aus diesem Versuche, daß, wenn zwei entgegengesetzte Elektricitäten sich je nach ihrer Distanz vollständig binden, sie alle Wirkung nach außen verlieren und allein in Beziehung auf einander stehen, denn man könne doch nicht annehmen, daß, falls wirklich die gegenseitig gebundenen Elektricitäten noch frei nach außen wirken könnten, diese Wirkungen sich für alle Punkte über dem Stanniolblatte vollständig neutralisiren würden.

Diese Knochenhauer'schen Einwürfe hat nun Fechner vollständig widerlegt (P. A. LI. 321). Er hat gezeigt, daß man mit Hülfe der

an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkugeln nur deshalb keine elektrische Wirkung oberhalb der vertheilten Platte nachweisen kann, weil sie gegen schwache Ladungen zu unempfindlich sind. Bringt man an die Stelle dieser Pendel eine Probeplatte, berührt man diese für einen Moment ableitend mit dem Finger, so zeigt sich diese Probeplatte nachher am Säulen-Elektrometer allerdings elektrisch und zwar gleichnamig mit *b b*, ein Beweis, daß die Wirkung, welche *a a* auf *c* ausübt, die Wirkung der gebundenen Elektricität in *b b* auf *e* überwiegt.

Fechner hat diesen Versuch nicht allein in der eben besprochenen Form, sondern in mehrfacher Weise abgeändert und stets mit dem gleichen Erfolge wiederholt. Es wird nicht nöthig seyn, alle diese einzelnen Versuchsformen zu beschreiben, namentlich da wir bei der Besprechung der Faraday'schen Untersuchungen über elektrische Vertheilung nochmals auf einige Punkte der Fechner'schen Arbeit zurückkommen.

Am Schlusse des Berichtes über diese Versuche sagt Fechner:

»Nach den vorstehenden Versuchen dürfte man hinreichend berechtigt seyn, die anziehenden und abstoßenden Wirkungen der bindenden und der sogenannten gebundenen Elektricität aus demselben Gesichtspunkte zu betrachten, als die freie Elektricität. Die gebundene Elektricität wird dadurch, daß sie gebunden ist, durchaus mit keinen neuen Eigenschaften begabt. Wenn ihre Anziehung und Abstoßung nicht mehr spürbar wird, so erklärt sich dies dadurch, daß sie von der entgegengesetzten Wirkung der bindenden Elektricität stets im Gleichgewicht gehalten oder überwogen wird u. s. w.«

Petrina hat zwar abermals Zweifel gegen die von Fechner gerechtfertigte Ansicht zu erheben gesucht, daß die Spannungselektricität durch einen nicht isolirten Elektricitätsleiter hindurchwirke (P. A. LXI. 116), ohne jedoch etwas Entscheidendes vorbringen zu können. Nach seiner Ansicht rührt die Elektricität, welche Fechner im elektrischen Schatten der oberen Metallplatte fand, daher, daß die krumme Oberfläche des cylindrischen Raumes über der oberen Platte durch Vertheilung elektrisch werde, und daß sich von da aus die vertheilende Wirkung nach innen verbreitet.

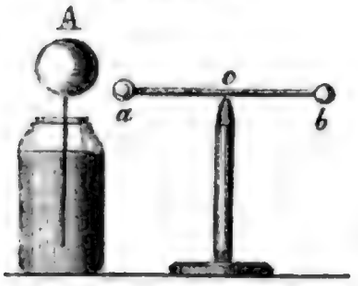
Petrina hat diese abentheuerliche Idee weder begründet, noch die sich aus ihr ergebenden Consequenzen weiter ausgeführt. Es bleibt dunkel, wie er sich den Vorgang eigentlich vorstellt.

Daß die Elektricität einer kräftigen Elektrisirmaschine durch eine Zimmerwand und eine geschlossene Thür hindurch keine merkliche vertheilende Wirkung mehr ausüben kann, darf uns wahrlich nicht befremden, und kann durchaus nicht als Argument gegen die von Fechner vertheidigte Ansicht gelten.

Im weiteren Verlauf der oben besprochenen Fechner'schen Abhandlung beschreibt derselbe Versuche, die er anstellte, um zu ermitteln, wie sich die Elektricität auf einem isolirten vertheilten Körper verbreitet. Die wesentlichsten Resultate dieser Versuche sind folgende.

Eine kleine Leidner Flasche war mit einer Metallkugel *A* (Fig. 25) von 3 Zoll Durchmesser versehen, positiv geladen und isolirt aufgestellt. Der Kugel gegenüber wurde ein messingener Leiter *a c b* isolirt aufgestellt. Dieser Leiter ist cylindrisch, von 5,2 Linien Durchmesser, mit kugelförmigen Knöpfen von 8,3 Linien Durchmesser an den Enden und 16 Zoll Länge. *a* und *A* standen 2 Zoll von einander ab.

Fig. 25.



Wurde der Leiter bei *a* ableitend mit dem Finger berührt, so zeigte ein Probescheibchen stets negative Elektricität, an welcher Stelle des Leiters man es auch anlegen mogte, selbst bei *b* fand sich negative Elektricität, doch mit zunehmender Stärke nach *a* hin. Auch auf den ableitend berührenden Finger oder die Hand gesetzt, nahm die Probescheibe — *E* an.

Wurde nun die Hand zurückgezogen, so daß der Leiter *a b* wieder isolirt war, so gab die größere Hälfte nach *b* zu positive, die kleinere nach *a* zu negative Elektricität an die Prüfungsplatte ab.

Dies Resultat scheint anfangs auffallend, erklärt sich aber sehr leicht durch folgende Betrachtung:

Wenn der Leiter bei *a* ableitend berührt wird, so ist auf der Hand auch von *A* angezogene — *E* angehäuft, die jedenfalls abstoßend auf die in *a* befindliche wirken muß. In *a* halten sich die abstoßende Wirkung der — *E* von der Hand aus und die anziehende Wirkung der + *E* in der Kugel *A* auf die hier vorhandene — *E* das Gleichgewicht, wird also die — *E* auf der Hand entfernt, so kann sich in *a* mehr — *E* anhäufen, ein Theil der neutralen *E* auf *a b* wird noch zersetzt, die — *E* strömt nach *a*, während gegen *b* hin sich die von *A* abgestoßene + *E* ansammeln wird.

Berührt man dagegen den Leiter ableitend bei *b*, so zeigt er seiner ganzen Länge nach — *E*, wachsend von *b* nach *a*, doch bei *b* nur sehr schwach; zieht man den Finger zurück, so zeigt sich auch noch jetzt der ganze Leiter negativ elektrisch, wachsend von *b* nach *a* zu, wie es wohl vorauszusehen ist.

Welche Anordnung der Elektricität auf einem Leiter eintreten müsse, welcher vertheilenden Einflüssen ausgesetzt ist, wurde von Poisson auf rein mathematische Bestimmungen gebracht, die auf nichts fußen, als

auf den bekannten Anziehungs- und Abſtoßungsgeſetzen der Elektricität. Die practiſche Anwendung des Princips ſtößt aber in vielen Fällen auf große Schwierigkeiten, weil es ſich um die Zuſammenſetzung und Zerlegung der Wirkungen von unendlich vielen Punkten handelt. Mit allgemeinen Betrachtungen iſt begreiflicher Weiſe nicht viel auf einem Felde zu erzielen, auf welchem die Ermittelung der Reſultate ſelbſt für den Calcul zu ſchwierig wird. In ſolchen Fällen wird man von der Erfahrung Belehrung ſuchen müſſen.

Wenn ein iſolirter Leiter vertheilt wird, ſo ſieht man es als allgemeine Regel an, daß die der vertheilenden Elektricität ungleichartige, ihr ſelbſt möglichſt nahe, die gleichartige möglichſt fern geht. Inzwiſchen läßt dieſe Regel, ſelbſt wenn man nur einen allgemeinen Anhalt darin ſuchen will, vieles unbeſtimmt.

Fig. 26.

Eine iſolirte leitende Scheibe, $a\,b$ (Fig. 26) ſey der vertheilenden Wirkung einer elektriſirten Kugel c ausgeſetzt. Wie werden ſich die beiden Elektricitäten auf $a\,b$ vertheilen? Sind die Ränder $a\,b$ der vertheilten Scheibe oder iſt die Mitte der Rückſeite d als der entfernteſte Punkt der Scheibe anzuſehen? Hat man, wenn c poſitiv iſt, in d poſitive oder negative Elektrität zu erwarten?

Fechner ſtellt eine Reihe von Verſuchen an, eine dieſer Fragen zu beantworten. Die angezogene $-E$ iſt auf der Mitte der Vorderfläche am ſtärkſten angehäuft und nimmt nach dem Rande zu ab; auf der Rückſeite findet ſich die abgeſtoßene $+E$, deren Dichtigkeit in der Mitte bei b ſehr gering nach dem Rande hin zunimmt. Die abgeſtoßene $+E$ greift noch um den Rand herum, ſo daß ſich am Rande auch auf der Vorderſeite noch $+E$ befindet; die Indifferenzlinie zwiſchen $+E$ und $-E$ liegt alſo auf der Vorderſeite, und zwar rückt ſie der Mitte um ſo näher, je mehr die vertheilende Kugel der vertheilten Scheibe genähert wird.

Aehnliche Verſuche ſtellte Fechner mit Stäben und Streifen von Metall an.

18 **Knochenhauer's weitere Unterſuchungen über gebundene Elektricität.** Die Fechner'ſchen Verſuche waren nicht im Stande, alle Zweifel Knochenhauer's über das Weſen der gebundenen Elektricität zu heben. Dieſe Zweifel veranlaßte ihn zu einer weiteren Reihe von Verſuchen, die wir jetzt beſprechen wollen.

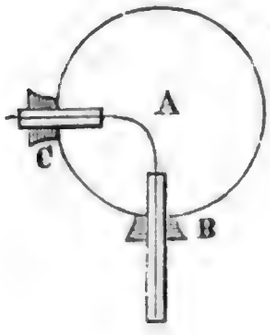
Der nächste hierher gehörige Aufsatz Knochenhauer's (P. A. LVIII. 31) führt die Ueberschrift »Versuche über gebundene Elektricität.« Der Eingang zu diesem Aufsatz lautet wörtlich so:

»Aus der Abhandlung von Fechner in diesen Annalen, worin er die »von mir ausgesprochene Ansicht über das Verhalten der gebundenen Elektricität zurückweist, lernte ich sowohl die Unzulänglichkeit der von mir beigebrachten Versuche kennen, als auch den Fehler in meiner Ansicht, wenigstens in der ihr gegebenen Ausdehnung und Fassung. Ich ließ damals aus Mangel an besseren Hülfsmitteln die Sache auf sich beruhen. »Als ich indeß später Veranlassung hatte, über die Grundgesetze der Elektricität weiter nachzudenken, dabei namentlich die Arbeiten von Faraday »und Rieß gehörig betrachtete und mehrere von ihren Angaben selbst untersuchte, da entstanden mir wiederum neue Zweifel über die Wahrheit »der hergebrachten Ansichten von dem Verhalten der gebundenen Elektricität in ihrer Beziehung zu der ursprünglichen Elektricität, von welcher sie »eben gebunden wird. Einzelne Thatsachen, die unwiderleglich vorlagen, »konnten entweder von mir danach nicht erklärt werden, oder es mußten »wenigstens manche Umstände noch in ein helleres Licht gesetzt werden, um »sicheren Aufschluß zu bekommen. Um mir nun diesen Aufschluß zu verschaffen, habe ich eine Reihe von Versuchen mit aller mir möglichen »Sorgfalt angestellt, und obschon auch diese bis jetzt keineswegs als abgeschlossen angesehen werden kann, so glaube ich sie doch zunächst mittheilen »zu dürfen, indem ich die Fortsetzung bis auf eine andere freie Zeit verschieben muß. Ich werde diese Versuche ohne alle Rücksicht auf irgend »eine Theorie mittheilen, rein, so wie sie sich ergeben haben, ja mit hinreichendem Detail, um Anderen das Urtheil über den Werth der von mir »abgeleiteten Formeln zu erleichtern; indeß will ich zum voraus auch keineswegs verschweigen, daß ich nach ihnen ziemlich zu den Ansichten Faraday's gelange, nur mit dem Unterschiede, daß wenn er zwischen den beiden Körpern, die sich gegenseitig elektrisch binden, eine Vertheilung in dem »von ihm so benannten Dielectricum annimmt, ich dieselbe lieber in den »Aether setzen mögte, der sowohl im leeren Raume als im Dielectricum »enthalten ist. Ich halte nämlich dafür, daß wir bei der Elektricität den »positiven und den negativen Strom nie von einander trennen dürfen, und »daß wo der eine ist, auch der andere in entgegengesetzter Richtung an derselben Stelle vorkommt; wenn demnach zwei Körper in Wechselwirkung »mit einander stehen, der eine positive, der andere negative Elektricität »enthält, und wenn endlich der Funke erfolgt, so kann weder der Hergang »der seyn, daß von einem Körper positive, vom andern negative Elektricität ausgeht, die sich in der Mitte vereinigen, noch kann eine allein den »Weg durchlaufen, sondern auf dem ganzen Wege des Funkens ist positive

»und negative Elektricität zugleich. Dieß aber ist wieder nur dann mög»lich, wenn vorher, ehe der Funken überschlägt, in dem Zwischenraume »selbst irgend eine besondere Disposition vorangeht; ich will sie elektrische »Spannung des Aethers nennen. Diese wird durch fortgesetzte Ladung ge»steigert, und kommt endlich zu einem solchen Grade, daß der Nichtleiter »ihrem Andrange nicht mehr widerstehn kann, und die elektrische Schwingung »des gespannten Aethers erfolgt. Für nichts anderes nämlich als für eine »eigenthümliche Schwingung, deren Art und Weise noch zu finden ist, be»trachte ich den Funken. Doch ich übergehe das Weitere, das bis jetzt nur »Hypothese bleibt, und kehre zu den Versuchen selbst zurück.

»Ich will jetzt zuerst erwähnen, was mir in den bisherigen Thatsachen vor»nehmlich auffallend war. Nimmt man einen isolirten Leiter *A* von passender »Form, theilt ihm z. B. positive Elektricität mit, und stellt in zweckmäßigen »Entfernungen hinter einander zwei andere nicht isolirte Körper *B* und *C*, so er»halten beide nach hergestelltem Gleichgewicht gebundene negative Elektricität, »und wenn sie sich frei bewegen können, so geht *B* von *C* ab nach *A* zu, *C* von »*B* ab weiter von *A* fort. Die negative Elektricität auf *C* soll der Ueberschuß »seyn von der von *A* aus gebundenen negativen und von der von *B* aus gebun»denen positiven Elektricität. Hier fragt sich nun, findet die electrische Vertheilung und die elektrische Anziehung nach denselben oder nach differenten »Gesetzen Statt; gilt der erstere Fall, wie man doch gewöhnlich annimmt, »wie kann in *C* die positive Elektricität von *A* »mehr binden, als die negative von *B*, und »doch die Anziehung von *A* aus geringer seyn, »als die von *B* aus? — Ferner nahm ich »eine Glaskugel von etwa 2 Zoll Durchmes»ser, die bei *B* und *C* (Fig. 27) zwei Oeff»nungen mit Hülsen hatte; in die untere »steckte ich durch Schellack eine etwa einen Fuß »lange Glasröhre, in die andere *C* eine kür»zere mittelst eines Korkes; durch beide Röh»ren ging ein dünner Kupferdraht, der bei *C* ein wenig hervorsah, die Kugel »selbst war mit Lack überzogen. Wenn man diese Glaskugel an der Röhre »*B* hielt, indem man den Draht zugleich faßte, und sie einem stark negati»ven Conductor so näherte, daß von der Spitze *C* aus derselbe nicht gesehen »werden konnte, so strömte doch von *C* ein deutlicher, über ¼ Zoll langer »Büschel positiver Elektricität aus. Dieses Strömen soll von der ge»bundenen positiven Elektricität entstehen, die hier etwa in der Mitte »des Drahts bei *A* sich findet; dies zugegeben, so geht die strömende po»sitive Elektricität offenbar abwärts vom Conductor in die Luft, und

Fig. 27.



»könnten wir jetzt den Conductor so schützen, daß seine negative Elektri»cität keine anderweitige Ableitung fände (welche Unmöglichkeit wenig»stens mit der Spitze C nichts zu thun hat), so bliebe der Hergang unaus»gesetzt derselbe, und wir hätten in der That ein perpetuum mobile con»struirt. Ward übrigens die Kugel gedreht, so verstärkte sich nach und »nach der positive Büschel; füllte man sie mit Feilspähnen, so ward der Her»gang nicht geändert. — Eine wohl isolirte Metallkugel mit zwei Spitzen »nach entgegengesetzter Richtung werde in die Nähe eines z. B. positiv elek»trischen Conductors gesetzt, so strömt die zugewandte Spitze negative, die »abgewandte positive Electricität aus. Bei zwei verschiedenen Elektri»citäten muß hier Zersetzung in der Kugel stattfinden, die demnach nie auf»hört. Doch dieser Versuch war mir in einer anderen Beziehung noch »wichtiger; hält man einen isolirten Metallstab, woran unten und oben »ein Pendel befestigt ist, über einen geladenen Conductor, läßt aber an den »Metallfäden der Pendel unten die Kugel fort, so begeben sich beide Pen»del von dem Metallstabe abwärts, allein der untere strömt die dem Con»ductor entgegengesetzte, der andere die gleiche Elektricität aus. Der Ver»such ist der ursprünglich von Rieß angegebene. Es zeigt sich hier eben»falls die Ablenkung, aber zugleich ein Zusammenhang mit der Entladung. »Welcher Umstand gilt demnach als Hauptsache? — Unter den von Rieß »streng ermittelten Thatsachen blieb mir, wie an der fraglichen Stelle »gleichfalls schon bemerkt ist, immer die merkwürdigste, daß die Erwärmung »im Schließungsdrahte umgekehrt zum Quadrate seines Querschnitts steht, »also vom Quadrate der Intensität des durchgehenden Stromes abhängt. »Ich kann hierin nur die Thatsache erblicken, daß jeder elektrische Strom »ein zwiefacher ist, und hätte Rieß seine Formeln so gestellt, daß er die »Erwärmung einmal von der Intensität i und zweitens von der Dauer t »des Stromes abhängig gesetzt hätte, so wäre die Erwärmung ϑ unter ent»sprechenden Umständen immer zu $i^2 t$ proportional gewesen; denn da i pro»portional mit $\frac{q}{s}$ nach seiner Bezeichnung wächst und t direct mit q, um»gekehrt mit der Intensität i oder $\frac{q}{s}$ zunimmt, so geht dadurch die Er»wärmung mit $\frac{q^2}{s}$ proportional. Also auch hier der Doppelstrom. Nicht »weniger merkwürdig ist der Umstand, daß die Intensität bei der Entla»dung proportional zur Länge des Funkens ist; ja das Auffallende würde »noch mehr hervortreten, wenn man den Abstand der beiden Kugeln zwi»schen denen sich die Batterie entladet, weiter ausdehnen und die Gültig»keit dieses Gesetzes auch bei größeren Entfernungen durch Versuche nach»weisen könnte. — So viel von den Dingen, die mich zu weiteren neuen

»Verſuchen veranlaßten. — Das erſte, was ich mir ſelbſt zu ermitteln »vorſetzte, war die Beſtimmung der Quantität der gebundenen Elektricität »in verſchiedenen Entfernungen.«

Ich habe dieſe Einleitung nur als ein Beiſpiel der höchſt confuſen Darſtellungsweiſe angeführt, welche ſich durch alle Abhandlungen Knochenhauer's durchzieht. Was er eigentlich will, muß der Leſer in den meiſten Fällen errathen. Er wirft die verſchiedenartigſten Dinge, die er durch nebelhaft gehaltene theoretiſche Andeutungen zu verbinden ſucht, bunt durcheinander. Die Schlüſſe, die er aus ſeinen Verſuchen zieht, ſind meiſt ſehr unklar entwickelt, und ſelten iſt es ihm gelungen, ein einfach und beſtimmt ausſprechbares Reſultat zu erhalten.

In Beziehung auf Unklarheit der Darſtellung könnte ſich Knochenhauer mit dem Beiſpiel anderer Phyſiker entſchuldigen, deren Namen in der Wiſſenſchaft hochgefeiert ſind; namentlich könnte er ſich auf Faraday berufen, deſſen theoretiſche Betrachtungen allerdings an großer Unklarheit leiden; aber ganz abgeſehen davon, daß die Berufung auf die Fehler anderer gewiß keine zuläſſige Rechtfertigung bietet, iſt doch auch zu bedenken, daß Faraday ſeinen Ruf, ſeine Bedeutung für die Wiſſenſchaft gewiß nicht durch ſeine nebelhaft gehaltenen theoretiſchen Betrachtungen über die Natur der elektriſchen Kräfte, ſondern der Entdeckung ſo zahlreicher wichtiger Thatſachen verdankt. Faraday iſt ein genialer Forſcher, ein unermüdlicher und glücklicher Experimentator, aber durchaus kein klarer Theoretiker. Die Unklarheit der Darſtellung, da wo er theoretiſche Anſichten beſpricht, kann man ihm ſchon zu Gute halten, weil er uns in ſeinen Abhandlungen eine ſolche Fülle der wichtigſten Thatſachen bietet.

Knochenhauer ſcheint das eigenthümliche Unglück zu haben, Verwirrung in allen Fragen anzurichten, die er behandelt. Nachdem Rieß ſo klar gezeigt hattte, daß man der gebundenen Elektricität durchaus keine beſonderen Eigenſchaften vindiciren könne, bringt er doch wieder Verſuche vor, welche die Sache abermals in Zweifel ziehen ſollen; Fechner beweiſt ihm die Unzulänglichkeit ſeiner Verſuche, Knochenhauer geſteht ſie ein, läßt ſich aber nicht abhalten, denſelben von neuem zu begehen und auf ungenaue Verſuche geſtützt, ein Geſetz über die Abnahme der Quantität der gebundenen Elektricität bei zunehmender Entfernung vom bindenden Körper zu publiciren, welches Allem, was wir von Bindung und Wirkung in der Ferne wiſſen, ſchnurſtracks widerſpricht, alſo alle unſere Fundamentalbegriffe über ſtatiſche Elektricität wieder in Frage ſtellt. Der Verſuch mit den drei Leitern, deſſen in der oben abgedruckten Einleitung zu der Knochenhauer'ſchen Abhandlung Erwähnung geſchieht, ſcheint

besonders seine Zweifel erregt zu haben; wir wollen diesen Versuch etwas näher betrachten.

Drei Leiter *A*, *B* und *C* Fig. 28 seyen in gerader Linie aufgestellt. Ist *A* isolirt und mit $+E$ geladen, während *B* und *C* nicht isolirt sind, so werden sich *B* und *C* mit gebundener $-E$ laden; sind nun *B* und *C* beweglich, so bewegt sich *B* gegen *A* hin, *C* von *A* weg, wie es die Pfeile der Figur andeuten. Nun sagt Knochenhauer, da die $+E$ des Leiters *A* noch $-E$ auf *C* binden kann, da also die bindende Wirkung, die *A* auf *C* ausübt, diejenige von *B* auf *C* übertrifft, welche letztere *C* mit $+E$ zu laden strebt, wie kommt es denn, daß *C* nicht auch stärker von *A* angezogen, als von *B* abgestoßen wird? — Wenn *A* stärker bindend auf *C* wirkt als *B*, so sollte auch die von *A* ausgehende Anziehung überwiegen, wenn anziehende Kraft und Bindung mit wachsender Entfernung nach gleichen Gesetzen abnehmen.

Fig. 28.

Was soll man nun von diesem Versuche halten? Es fehlen durchaus alle näheren Angaben über die Art und Weise, wie er anzustellen ist; es ist nicht gesagt, wie groß die Leiter *A*, *B* und *C*, es ist nicht gesagt, in welchen Entfernungen sie aufgestellt sind, kurz es fehlen alle Angaben, aus denen man einen Schluß auf die Bedeutung dieses Versuchs ziehen könnte; ja es hat fast den Anschein, als habe Knochenhauer einen solchen Versuch, von dem er, wie von einer bekannten Thatsache spricht, gar nicht angestellt.

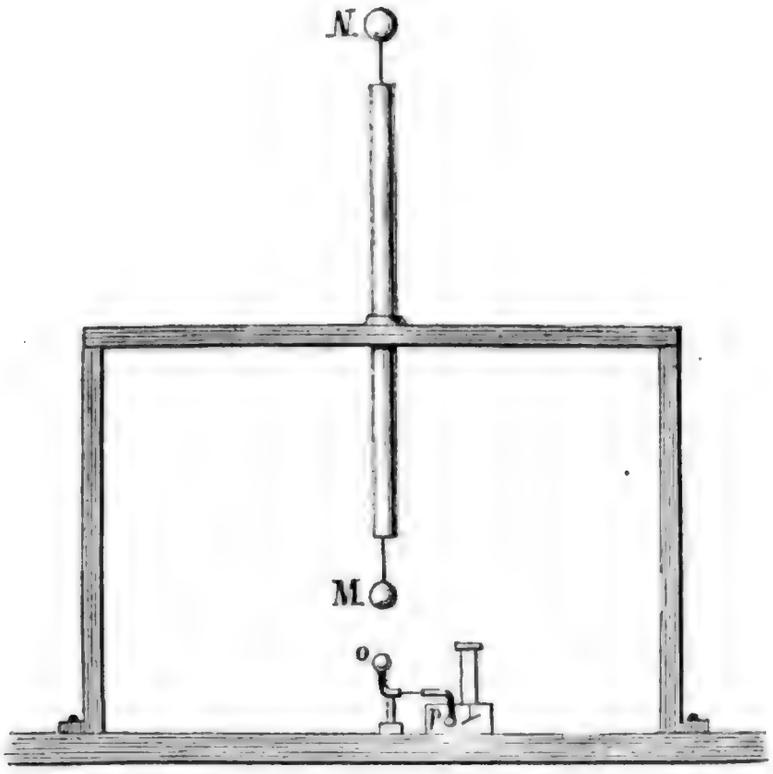
Gehen wir nun zu den Versuchen über, durch welche Knochenhauer das Verhältniß der Menge der gebundenen Elektricität zur Entfernung vom bindenden Körper zu ermitteln sucht.

Das Meßinstrument, welches er zu diesem Zwecke anwendet, ist eine Coulomb'sche Drehwage. Diese Drehwage steht in einem Rahmen, Fig. 29 (a. f. S.), welcher 2′ hoch und 3′ breit ist. Durch die Mitte des oberen Balkens geht eine Glasröhre, in der ein Draht befestigt ist, der unten *M*, oben *N* trägt. *M* steht gerade über *O*, *N* ist mit der inneren Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung. Der gebogene Leitungsdraht, welcher *o* und *p* mit einander verbindet, ist mit Schellak überzogen und ruht auf einem Fuß von Schwefel. Nur an einer Stelle ist dieser Draht frei von Schellack, so daß man ihn hier mit dem Boden in leitende Verbindung setzen kann.

Die Versuche wurden nun folgender Weise angestellt. Dem Faden wurde zunächst eine Torsion von 5 Umdrehungen gegeben, und der Verbindungsdraht von *o* und *p* mit dem Boden in leitende Verbindung ge-

ſetzt. Nun wurde die Flaſche mit einer beſtimmten Quantität E geladen, dadurch verbreitete ſich eine beſtimmte Quantität E auf M, die eine be=

Fig. 29.



ſtimmte Quantität E auf o bindet. Dieſe auf o gebundene E wird aber frei, wenn die Flaſche und mit ihr M entladen wird, nachdem man die leitende Verbindung zwiſchen o und dem Boden aufgehoben hat; die frei gewordene E verbreitet ſich auch nach p, und bewirkt eine Drehung des beweglichen Balkens in der Drehwage, deren Größe von der Stärke der Ladung abhängt. Derſelbe Verſuch wurde bei verſchiedenen Entfernungen zwiſchen M und o wiederholt und immer die entſprechenden Ablenkungen der Drehwage beobachtet, aus denen dann Knochenhauer auf die Stärke der Ladung, alſo auch auf die Quantität der durch M auf o gebundenen Elektricität ſchließen zu können glaubt.

Folgendes ſind die Reſultate einer ſolchen Beobachtungsreihe.

d	x
1	33° 8′
4	23° 55′
9	16° 22′
16	10° 22′

d bezeichnet hier die Entfernung der Kugeln o und M, wobei 3 Pariſer Linien als Einheit genommen ſind.

Aus vielen solchen Versuchsreihen leitet Knochenhauer für die Quantität J die in einer Entfernung d gebunden wird, die Formel

$$J = (0{,}70736)^{\sqrt{d}} E$$

ab, wo sich E von einer Versuchsreihe zur andern ändert.

Sehen wir nun zunächst, wie diese Formel mit obiger Versuchsreihe harmonirt. Nehmen wir, was ohne merklichen Fehler geschehen kann, den Winkel x als die Entfernung zwischen den beiden sich abstoßenden Körpern in der Drehwage an. Ist nun J die Intensität der Elektricität auf der Kugel p und auf der Kugel des beweglichen Hebels, so ist ihre gegenseitige Abstoßung $\frac{J^2}{x^2}$, und diese hält der Torsion des Fadens das Gleichgewicht, es ist also

$$\frac{J^2}{x^2} = t$$

mithin

$$J = x\sqrt{t}$$

d. h. die Intensität der elektrischen Ladung ist dem Ablenkungswinkel proportional, folglich muß auch

$$x = (0{,}70736)^{\sqrt{d}} N$$

seyn und damit stimmt obige Versuchsreihe in der That ziemlich gut überein. Für $d = 1$ haben wir nämlich $x = 33{,}133^0$, es ist also

$$33{,}133 = 0{,}70736.N$$

und daraus

$$N = 47{,}33$$

es ergiebt sich demnach ferner

$$\text{für } d = 4,\ x = 47{,}33\ (0{,}70736)^{\sqrt{4}} = 23^0, \ldots$$

$$d = 9,\ x = 47{,}33\ (0{,}70736)^{\sqrt{9}} = 16^0, \ldots$$

$$d = 16,\ x = 47{,}33\ (0{,}707..)^{\sqrt{16}} = 11^0, \ldots.$$

Diese Versuchsreihe, und so auch die andern scheinen also wirklich dieses merkwürdige Gesetz

$$J = E\,(0{,}70736)^{\sqrt{d}}$$

zu bestätigen, welches sich gar nicht recht in Worten will ausdrücken lassen, und welches mit den gewöhnlichen Ansichten über elektrische Bindung allerdings nicht in Uebereinstimmung zu bringen ist. Diese Versuchsreihen aber bieten mir doch nicht genug Garantie, um darauf hin ein so sonderbares, allen unseren Vorstellungen über das Wesen der Bindung so schnurstracks widersprechendes Gesetz anzunehmen.

Wollte man die Knochenhauer'schen Versuche einer strengen Kritik unterwerfen, so würde man eine Menge Umstände herausfinden, welche geeignet sind, Zweifel gegen die Genauigkeit der Resultate zu erwecken. Da ich weiter unten nachweisen werde, wodurch Knochenhauer durchaus falsche Resultate erhalten mußte, so will ich hier die untergeordneten Fehler, welche blos der Genauigkeit Eintrag thun, bis auf folgenden Punkt übergehen.

Bei den meisten Versuchen betrug der Durchmesser der Kugel *M* 9 Linien, der Durchmesser der Kugel *o* aber 4‴; wenn nun die Kugeln 3‴ von einander abstanden, so darf man doch 3‴ gewiß nicht für die Distanz der Anziehungsmittelpunkte annehmen. Hier ist ganz gewiß die Entfernung der beiden Kugeln viel zu klein im Vergleich zu ihren Dimensionen, als daß es erlaubt wäre, aus solchen Versuchen einen Schluß auf die Abnahme der Bindung bei wachsender Entfernung zu machen. Das Gesetz, daß die elektrische Anziehung und Abstoßung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung stehe, setzt voraus, daß die Entfernung der auf einander wirkenden Körper groß genug sey, um ohne merklichen Fehler die anziehende oder abstoßende Wirkung in ihrem Mittelpunkte vereinigt zu denken. Knochenhauer legt seiner Betrachtung stillschweigend die Voraussetzung unter, daß die Kugeln so auf einander wirkten, als ob alle Elektricität der Kugel *M* in ihrem untersten alle gebundene Elektricität der Kugel *O* in ihrem obersten Punkte vereinigt wäre, was sicherlich nicht zugegeben werden kann.

Knochenhauer verfällt hier in denselben Fehler, welchen Rieß mit Recht an einer Arbeit von Snow Harris rügt, indem er sagt: »so sucht z. B. der unermüdliche Experimentator Snow Harris allgemein gültige Zahlenverhältnisse zwischen der Wirkung eines statisch electrisirten Leiters auf einen neutralen, und der Entfernung der nächsten Fläche der Leiter (Phil. Transact. f. 1834). Vor solchen Fehlgriffen hätten Coulombs und Prissons Arbeiten bewahren müssen.«

Bei den Knochenhauer'schen Versuchen haben Umstände störend eingewirkt, welche seine Resultate durchaus falsch machten, und welche veranlaßten, daß er die Quantität der gebundenen Electricität bei wachsender Entfernung von dem bindenden Körper viel zu langsam abnehmend fand.

Er selbst führt eine Beobachtungsreihe an, die wohl geeignet gewesen wäre, ihm Mißtrauen gegen seine Beobachtungsweise zu erregen. Bei etwas starker Ladung der Flasche fand er nämlich folgende zusammengehörige Werthe von *d* und *x*

d	x
1	40°
2	vollständiges Umschlagen der Nadel
3	43
4	41,5

also bei größeren Entfernungen stärkere Wirkungen. Diese Beobachtungsreihe war freilich nicht zu gebrauchen. Die Umstände, welche hier für kleine Entfernungen die Wirkung offenbar zu klein machen, und zwar so, daß die Unbrauchbarkeit des Versuchs in die Augen springt, wirken aber auch sicherlich bei allen anderen Versuchsreihen, nur nicht in dem Maaße wie bei den zuletzt angeführten, d. h. noch nicht so stark, daß für größere d sogar ein stärkere Wirkung erfolgt. Sollten die störenden Einflüsse, die bei einer etwas stärkeren Ladung im Extrem auftreten, bei etwas schwächeren Ladungen ganz fehlen?

Experimenteller Beweis, daß die Quantität der gebundenen Elektricität sich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernung vom bindenden Körper. Um die Knochenhauer'schen Einwendungen definitiv zu widerlegen, habe ich selbst eine Reihe von Versuchen über das Gesetz angestellt, nach welchen die Stärke der Bindung abnimmt, wenn die Entfernung der auf einander bindenden Körper wächst. 19

Die Beobachtungsmethode war im Wesentlichen dieselbe, wie die von Knochenhauer angewandte, nur substituirte ich für die Drehwage ein Strohhalmelektrometer, welches mit einem Gradbogen versehen war. Zunächst war zu untersuchen, in welchem Verhältniß die Zunahme der Ladung mit der Zunahme der Divergenz der Pendel steht, um später aus den Divergenzen auf die Größe der elektrischen Kräfte schließen zu können, welche dieselben hervorbringen. Dies geschah auf folgende Weise.

Eine große Leidner Flasche (sie hatte ungefähr 2□′ innere Belegung) wurde mit positiver Elektricität geladen: der Knopf dieser Flasche konnte als eine ziemlich constante Quelle von Elektricität betrachtet werden, von der man leicht immer dieselbe kleine Quantität nehmen und auf das Electrometer übertragen kann. Diese Uebertragung geschah mittelst einer Messingkugel von ungefähr 3‴ Durchmesser, die durch einen hinlänglich langen Siegellackstiel isolirt war. Es wurde diese kleine Kugel mit der Kugel der Leidner Flasche in Berührung gebracht und dadurch mit einer bestimmten Menge von Elektricität geladen, die wir mit 1 bezeichnen wollen. Diese Quantität 1 wurde nun dadurch auf das Elektrometer übertragen, daß man die Platte desselben mit der geladenen Kugel berührte; die Pendel

divergirten und da die Elektricitätsmenge 1 entſprechende Divergenz wurde abgeleſen.

Nun wurde die kleine Kugel abermals mit der Kugel der Flaſche in Berührung gebracht und dieſelbe Elektricitätsmenge abermals auf den Elektrometer übertragen, deſſen Divergenz dadurch eine entſprechende Zunahme erhielt. Auf ſolche Weiſe wurde nun die Ladung des Electrometers ſtets um dieſelbe Elektricitätsmenge vermehrt und ſtets die entſprechende Divergenz des Pendels beobachtet.

Die Steigerung der Ladung wurde bis zu den Quantitäten 7, 8 oder 9 fortgeſetzt, darauf der Elektrometer entladen und dieſelbe Verſuchsreihe wiederholt.

Daß während der ganzen Verſuchszeit die Stärke der elektriſchen Ladung der Flaſche nicht merklich abnahm, geht aus den in der folgenden Tabelle verzeichneten Zahlen hervor, welche die Reſultate von 8 Verſuchsreihen enthält.

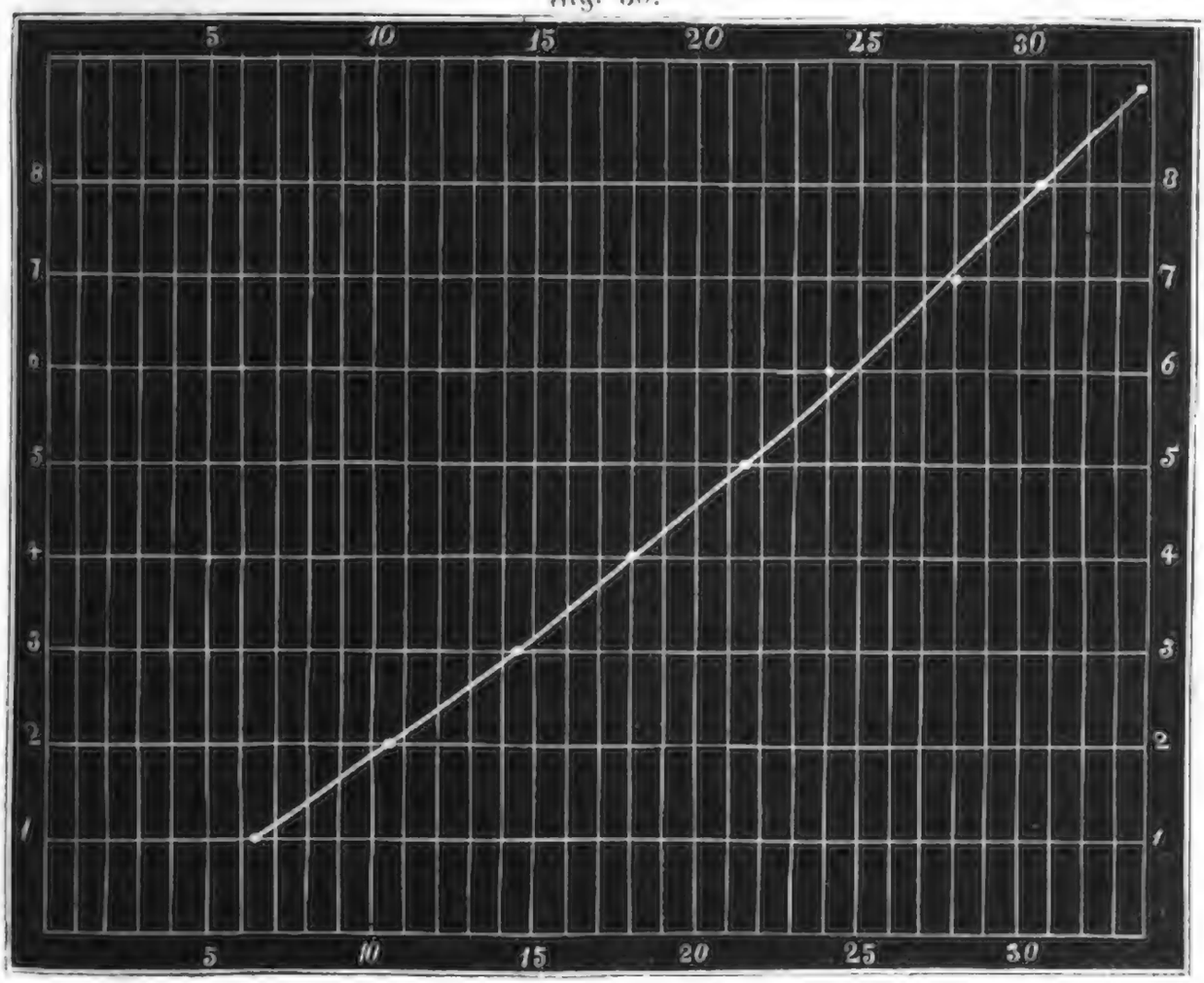
E	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	Mittel
1	6°	7°	7°	7°	7°	6°	5,5°	6°	6,4
2	10	11	11	9	11	10	10	11	10,3
3	15	15	15	15	14,5	16	14	15	14,6
4	18,5	18	19	18	18	19	17,5	19	18
5	22	22	22	21	21,5	22	21,5	22	21,4
6	24,5	25	25	24	24,5	—	23	23	24
7	28	28	28	27	27	—	28,5	28,5	28
8	—	30	32	30	30	—	31,5	31	30,7
9	—	—	—	—	—	—	33,5	34	33,7

Die erſte Vertikalreihe enthält die Elektricitätsmengen, welche auf den Elektrometer übertragen worden ſind, jede der folgenden 8 Vertikalreihen enthält die entſprechenden Divergenzen, wie ſie bei 8 auf einander folgenden Verſuchsreihen gefunden wurden, die letzte Kolumne enthält das Mittel der für jede Elektricitätsmenge gefundenen Divergenzen.

Statt den Zuſammenhang zwiſchen der Elektricitätsmenge, mit welcher der Elektrometer geladen iſt und die Divergenz des Pendels durch complicirte Formeln auszudrücken, habe ich verſucht, ihn durch graphiſche Darſtellung anſchaulich zu machen. In Fig. 30. ſind die Ordinaten der Elektricitätsmengen, die Abſciſſen der Divergenzen proportional, und zwar ſind die ſtark markirten Punkte diejenigen, welche den zu den verſchiedenen, links

an der Figur beigeschriebenen Elektricitätsmengen gehörigen mittleren Divergenzen entsprechen.

Fig. 30.



Diese Punkte lassen sich in der That, wie es auch in der Figur geschehen ist, durch eine ganz regelmäßige Kurve verbinden, welche den Zusammenhang zwischen Elektricitätsmenge und der Divergenz darstellt, wenn nur die Punkte, welche der Elektricitätsmenge 6 und 7 angehören, etwas neben der Kurve liegen bleiben.

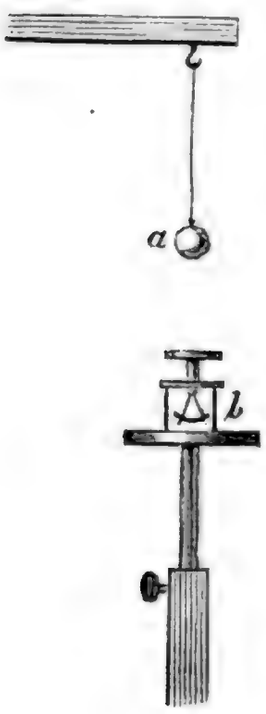
Die Ablesungen, aus welchen diese Resultate gezogen wurden, sind freilich immer nur bis auf halbe Grade genau gemacht worden; eine größere Genauigkeit in der Ablesung der einzelnen Beobachtung ist aber auch durchaus nicht nöthig, da die Resultate durch verschiedene Ursachen doch um mehr als $^1/_2$ unsicher werden, und die einzelnen Ablesungen für dieselbe Elektricitätsmenge manchmal um 2 Grad verschieden ausgefallen sind. — Knochenhauer giebt bei seinen Beobachtungen freilich sogar einzelne Minuten an, obgleich die Unsicherheit der Beobachtungen auf mehrere Grade geht; wie er an seinem so kleinen Instrumente einzelne Minuten ablesen konnte, wie es z. B. bei der auf Seite 44 angeführten Versuchsreihe der Fall ist, läßt sich schwer begreifen; wenn aber auch das Instru-

ment eine ſo genaue Ableſung wirklich erlaubt hätte, ſo war ſie doch unnöthig, weil die Einſtellung der Nadel bei weitem nicht bis zu jenem Grade ſicher iſt. Man ſollte bei ſolchen Angaben keine größere Genauigkeit affectiren, als ſie die Umſtände wirklich zulaſſen.

Nachdem das Strohhalm-Elektrometer auf die angegebene Weiſe geprüft war, konnte ich zu den entſcheidenden Verſuchen ſelbſt übergehen, die auf folgende Weiſe angeordnet waren.

An einer ſeidenen, wohl iſolirenden Schnur war eine hohle Meſſingkugel von 2 Zoll Durchmeſſer aufgehängt. Genau unter derſelben ſtand das Elektrometer auf einer Platte, deren Stiel beliebig auf- und abgeſchoben, und in jeder beliebigen Stellung feſtgeſtellt werden konnte. Die Meſſingplatte des Elektrometers hatte 18‴ Durchmeſſer.

Fig. 31.



An dem Stabe, welcher die Platte des Statifs trug, waren drei Striche in einem Abſtande von 3 Zollen angebracht. Wenn der unterſte dieſer Striche gerade an dem oberen Ende des hohlen Fußes einſtand, war die Platte des Elektrometers 3 Zoll von dem Mittelpunkte der Kugel entfernt; dieſe Entfernung betrug 6 Zoll oder 9 Zoll, wenn der zweite oder der oberſte der drei Striche eben ſo einſtand. Nehmen wir 3 Zoll zur Einheit, ſo befand ſich alſo die Elektrometerplatte einmal in der Entfernung 1, dann in der Entfernung 2, endlich in der Entfernung 3.

Als die Platte des Elektrometers in der Entfernung 3 von der Kugel ſtand, wurde nun dieſe Platte ableitend mit dem Finger berührt, und die Kugel *a* dadurch geladen, daß ſie mit der Kugel einer kleinen geladenen Flaſche in Berührung gebracht wurde.

War auf dieſe Weiſe die Kugel geladen, ſo wurde die Flaſche raſch auf Seite geſtellt.

Die Elektricität auf *a* mußte nun eine beſtimmte Quantität entgegengeſetzter *E* auf *b* binden, die alsbald meßbar wurde, wenn man den Finger von *b* zurückzog und ſogleich die Kugel *a* mit der Hand faßte und auf Seite ſchob. — Es ergab ſich eine Ablenkung von 6°.

Nun wurde die Platte des Statifs um 3 Zoll höher geſtellt, ſo daß jetzt die Entfernung zwiſchen *b* und dem Mittelpunkte von *a* gleich 2, alſo 2 × 3 Zoll, war, und der Verſuch auf dieſelbe Weiſe wiederholt, wobei dieſelbe Flaſche mit der nämlichen Ladung angewandt wurde. Es ergab ſich die Divergenz 12°.

Derselbe Versuch in der Entfernung 1 wiederholt, gab die Divergenz 30,5°.

Jetzt wurde der Elektrometer der Reihe nach in die Entfernung 2, 3, 2, 1, 2, 3 u. s. w. gebracht und immer derselbe Versuch angestellt. Die Resultate der Beobachtungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

											Mittel.
1	30,5		31,5		30		31		30		30,6
2	12	12	12,5	10	12	11	10,5	11,5	11	11,5	11,4
3	6		6		5,5		6		7	6	6,2

Bei gleicher Ladung der Kugel *a* erhielt man also im Mittel die Divergenz 30,6° für die Entfernung 1; die Divergenz 11,4° für die Entfernung 2, und endlich die Divergenz 6,2° für die Entfernung 3.

Die gleiche Ladung der Kugel *a* wurde dadurch erhalten, daß sie immer mit der Kugel derselben für die ganze Versuchsreihe ein für allemal geladenen Leidener Flasche berührt wurde. Allerdings wurde die Ladung der Flasche bei jeder Berührung mit der Kugel etwas vermindert, doch ist diese Verminderung nach zwanzigmaliger Berührung noch unmerklich, wie man aus obiger Tabelle ersieht.

Sehen wir nun, wie groß die elektrischen Ladungen sind, welche an unserm Elektrometer die Divergenzen 30,6 — 11,4 — und 6,2 geben.

Aus Betrachtung der Fig. 30 ergiebt sich, daß die Divergenz 30,6 der elektrischen Quantität 8; die Divergenz 11,4 der elektrischen Quantität 2,25 und 6,2 der Quantität 0,95 entspricht. Die Quantität der Elektricität, welche die Kugel *a* auf *b* bindet, ist also

für die Entfernung 1 gleich 8
» » » 2 » 2,25
» » » 3 » 0,95

Die Zahlen 0,95 — 2,25 und 8 verhalten sich in der That sehr nahe wie 1, — 4 und 9, also umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. Nur für die Entfernung 1 ist die abgelesene Divergenz etwas zu klein, was sich aber leicht erklären läßt; bei so starker Ladung des Elektrometers, welche eine Divergenz von 30 in mehreren Graden hervorbringt, sinken die Pendel wegen des stärkeren Verlustes rascher zusammen, bis man also zum Ablesen kommt, hat sich die ursprüngliche Divergenz schon etwas vermindert.

Eine ähnliche Versuchsreihe, wobei bloß zwischen der einfachen und doppelten Entfernung gewechselt wurde (als Einheit der Entfernung war hierbei 4″ genommen worden), gab folgende Resultate:

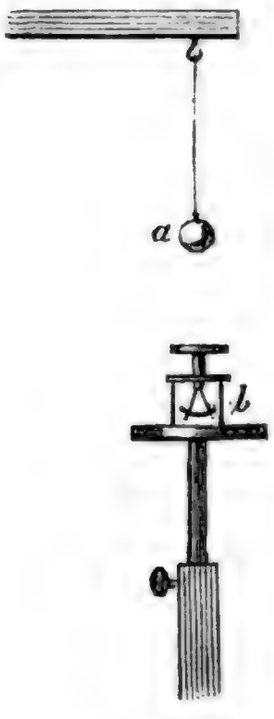
					Mittel.
1	26	24	24,5	24	24,6
2	9	9	8,5	9	8,87

Die Divergenzen 24,6 und 8,87 entſprechen den Elektricitätsmengen 6 und 1,6, die ſich ebenfalls ſehr nahe verhalten, wie 4 zu 1; alſo auch hier für die doppelte Entfernung eine viermal geringere Menge der gebundenen Elektricität.

Ich ſollte denken, daß dieſe Verſuche genügen, um den Satz außer Zweifel zu ſetzen, daß die Menge der Elektricität, welche auf einem nicht iſolirten Leiter durch einen benachbarten iſolirten und elektriſch geladenen gebunden wird, ſich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernung der beiden Leiter, vorausgeſetzt, daß die Dimenſionen derſelben und ihre Entfernung von der Art ſind, daß man die elektriſchen Kräfte ohne bedeutende Fehler als in ihrem Schwerpunkte concentrirt annehmen kann.

Bei den Knochenhauer'ſchen Verſuchen war die Entfernung zwiſchen dem bindenden Körper und demjenigen, auf welchen die entgegengeſetzte Elektricität gebunden wird, viel kleiner, als bei meinen Verſuchen; bei ihm war die kleinſte Entfernung 3 Linien, bei mir 3 Zoll. — Dies brachte mich auf den Gedanken, es möchte wohl bei Knochenhauer's Verſuchen Elektricität übergegangen ſeyn. Um zu unterſuchen, ob dies wirklich der Fall geweſen ſeyn konnte, machte ich die Entfernung zwiſchen der Kugel *a* und der Elektrometerplatte im Lichten 3‴ und ließ dann den Elektrometer ſo weit herunter, daß die Entfernung der Platte von dem Mittelpunkte der Kugel doppelt ſo groß wurde, als bei der erſten Stellung. Auch hier ergab ſich in der doppelten Entfernung eine ungefähr viermal kleinere Wirkung, hier war alſo keine Elektricität von der Kugel zur Platte übergegangen.

Fig. 32.



Die Kugel war aber ziemlich groß, die Platte ein Stück einer unendlich großen Kugel; die Kugel *a* war überdies noch gefirnißt, lauter Umſtände, die dem Uebergange der Elektricität weit weniger günſtig waren, als bei Knochenhauer.

Ich vertauſchte nun die Kugel *a* mit einer andern nicht gefirnißten, die nur 8‴ Durchmeſſer hatte; die Platte des Elektrometers wurde abgeſchraubt und durch eine Kugel von ungefähr 4 Linien Durchmeſſer erſetzt.

Als die Entfernung zwischen beiden Kugeln 12 Linien (also die Entfernung des Mittelpunktes 18 Linien) betrug, erhielt ich bei Wiederholung des Versuchs in oben angegebener Weise, bei einer Ladung, die natürlich bedeutend schwächer seyn mußte, als bei den frühern Versuchen, eine Divergenz von 8 bis 10 Grad; als aber der Elektrometer so weit genähert wurde, daß die Entfernung im Lichten nur noch 3‴ Linien betrug, die Entfernung des Mittelpunktes also nur halb so groß war als bei der ersten Stellung, ergab sich bei gleicher Ladung der kleinen Kugel *a* nicht etwa eine nahezu viermal stärkere Divergenz der Pendel, sondern ebenfalls nur eine Divergenz von 10°.

Hier war nun offenbar Elektricität zwischen den Kugeln übergegangen und dadurch die Ladung der oberen Kugel sowohl als auch die Menge der gebundenen Elektricität auf die untere bedeutend vermindert worden.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß gerade dieser Umstand auch bei den Knochenhauer'schen Versuchen störend wirkte und seine Resultate durchaus unbrauchbar machte.

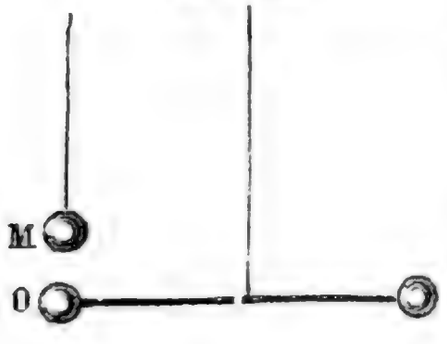
Knochenhauer's weitere Versuche über gebundene Elektricität. Nach dieser Beleuchtung der Knochenhauer'schen Gesetze über die Quantität der gebundenen Elektricität wird es wohl erlaubt seyn, über den Rest der erwähnten Abhandlung nur ganz kurz zu referiren; Knochenhauer führt im Verlaufe derselben noch folgende Sätze als Resultate seiner Versuche an. 20

1) Wenn bei unveränderter Entfernung eines isolirten geladenen Leiters *a* und eines nicht geladenen *b*, die Ladung von *a* zwei-, drei-, viermal so groß wird, so wird die auf *b* gebundene Elektricität ebenfalls zwei-, drei-, viermal so groß seyn.

Gegen dies Resultat, welches sich wohl von selbst versteht, ist nichts einzuwenden.

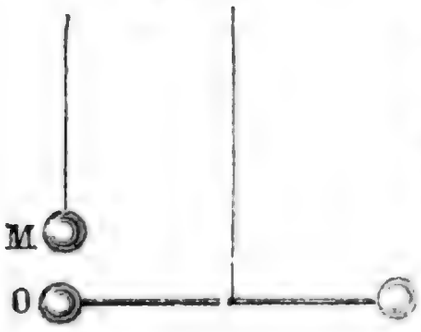
2) In Beziehung auf die Anziehung einer Kugel mit gebundener Elektricität in verschiedener Entfernung kommt Knochenhauer zu folgendem Resultat.

Fig. 33.



Wenn *M* eine mit der Innenseite der Batterie verbundene Metallkugel ist, wenn ferner die Kugel *O*, welche das eine Ende eines an einem isolirenden Faden hängenden Metallstäbchens bildet, vertikal unter *M* hängt, so wird in *O* Elektricität gebunden, wenn die Batterie also auch *M* geladen wird. Ist das Metallstäbchen mit dem Boden oder der äußeren Belegung der Flasche in leitender Verbindung, so wird die Elektricität auf *O* bei

Fig. 34.



ſteigender Ladung von *M* endlich ſo zu nehmen, daß *O* gehoben wird, wozu ſtets eine beſtimmte Größe der anziehenden Kraft zwiſchen *M* und *O* nöthig iſt. Wenn nun bei einer beſtimmten Entfernung zwiſchen *M* und *O* eine beſtimmte Ladung nöthig iſt, um die Hebung von *O* zu bewerkſtelligen, ſo ſoll bei doppelter, dreifacher, vierfacher Entfernung zwiſchen *M* und *O* auch eine zwei-, drei-, viermal ſo große Ladung von *M* nöthig ſeyn, um denſelben Effect zu erhalten, oder mit andern Worten: Wenn die Stärke der Anziehung zwiſchen *M* und *O* unverändert bleiben ſoll, ſo muß die Ladung von *M* in demſelben Maaße wachſen, wie die Entfernung zwiſchen *M* und *O*.

Dieſer Satz iſt eben ſo unwahrſcheinlich, und möchte wohl auf eben ſo ſchwachen Füßen ſtehen, wie das Geſetz über die Quantität der gebundenen Elektricität, ich halte deshalb eine detaillirtere Beſprechung für unnöthig.

3) In der Formel

$$J = N \,.\, b^{\sqrt{d}},$$

welche die Quantität der gebundenen Elektricität ausdrücken ſoll, nennt Knochenhauer den Factor *b*, welcher zur Potenz $\sqrt{d}$ erhoben werden ſoll, den Bindeexponenten, und findet, daß dieſer Bindeexponent unverändert bleibt, mag nun zwiſchen *M* und *O* ein lufterfüllter oder ein luftleerer Raum ſeyn.

4) Wenn zwiſchen den Kugeln *M* und *O* ein verdünnter Raum iſt, ſo ſchlagen die Funken ſchon bei geringerer Ladung über. Die folgende Tabelle zeigt, bei welchen Ladungen der Batterie (ausgedrückt in Funken der Lane'flaſche) ein Ueberſchlagen des Funkens ſtattfand, wenn die Luft zwiſchen den Kugeln allmälig verdünnt wurde.

B	J
27,4	41,85
24,4	37,75
21,4	33,45
18,4	29,05
15,4	25,10
12,4	20,80
9,4	16,60
6,4	12,20
3,4	8,05
1,9	5,20

Um die Luft zwischen den Kugeln verdünnen zu können, befanden sie sich natürlich im Innern eines Glasgefäßes, welches man evacuiren konnte. Die erste Columne unter B enthält die Spannkraft der Luft, gemessen durch eine Queckſilberſäule.

Die Zahlen dieſer Tabelle harmoniren recht gut mit der Formel

$$J = y\,(x + B),$$

wo x und y zwei conſtante ſind (ſonſt pflegt man mit x und y die variabeln Größen und nicht die conſtanten Factoren zu bezeichnen), wenn man $x = 2{,}41$ und $y = 1{,}406$ ſetzt.

Ein ſolches Geſetz wäre nun ſeiner Einfachheit wegen ganz annehmbar, ſpätere Verſuchsreihen harmoniren aber nach Knochenhauer's Anſicht nicht ſo gut (obgleich die beobachteten und berechneten Werthe von J nie um ein Ganzes differiren, und die beobachteten Bruchtheile der Elektricitätsmengen, gemeſſen durch Funken der Lane'ſlaſche, doch nicht ſehr zuverläſſig ſeyn können), ſo daß er ſich veranlaßt ſieht, eine neue Formel mit drei conſtanten

$$J = \frac{y\,(x + B)}{1 + Bz}\,Jn$$

zu conſtruiren, in welchen Jn die Ladung bezeichnet, welche nöthig iſt, um bei 28″ Barometerſtand überzuſchlagen und die ſich den Beobachtungen beſſer anſchließen ſoll.

5) Wenn in einem elektriſchen Luftthermometer, ähnlich dem Rieß'ſchen, kein Draht ausgeſpannt iſt, ſondern wenn in demſelben zwei Kugeln auf eine beſtimmte Diſtanz einander gegenüberſtehen, ſo wird, wenn ein Funken zwiſchen dieſen Kugeln überſchlägt, eine Depreſſion der Flüſſigkeit in der Röhre des Thermometers erfolgen, welche Knochenhauer als ein Maaß für die Quantität der durch die Funken verdrängten Luft anſieht und welche Quantität ſeinen Verſuchen zufolge ſich durch die Formel

$$x = A\,\frac{q^2}{s}$$

ausdrücken laſſen ſoll, in welchem q und s dieſelbe Bedeutung haben, die wir ſpäter bei Beſprechung der Arbeiten von Rieß werden kennen lernen, A aber einen conſtanten Factor bezeichnet.

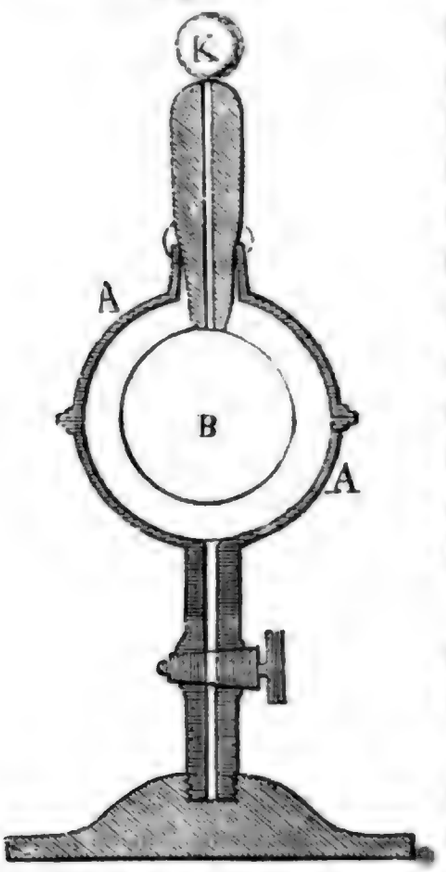
Faraday's Unterſuchungen über gebundene Elektricität. 21
Auch Faraday hat die Bindung und Vertheilung der Elektricität zum Gegenſtande ſeiner Unterſuchungen gemacht. In ſeiner elften Reihe von Experimental-Unterſuchungen über Elektricität (P. A. XLVI. 1) ſucht er nachzuweiſen, daß die Vertheilung nicht die Folge einer elektriſchen Wirkung in die Ferne ſey, ſondern von dem bindenden Körper

aus durch Vermittlung der zwischenliegenden materiellen Theilchen bewerkstelligt werde.

Um zu beweisen, daß die Vertheilung das Resultat einer von Theilchen zu Theilchen des trennenden Isolators fortschreitende Wirkung sey, sucht Faraday darzuthun: 1) daß bei gleicher Entfernung des vertheilenden Körpers und desjenigen, auf welchem durch Vertheilung Elektricität erregt und gebunden ist, die Stärke der Vertheilung und Bindung noch von der Natur des trennenden Isolators abhängig sey, daß durch verschiedene Isolatoren hindurch die Bindung unter sonst gleichen Umständen nicht gleich sey, daß also jedem Isolator ein eigenthümliches, specifisches Vertheilungsvermögen zukomme; 2) daß die Vertheilung auch nach krummen Linien stattfinden könne.

22 **Specifisches Vertheilungsvermögen.** Betrachten wir zunächst das specifische Vertheilungsvermögen der Isolatoren.

Fig. 35.



In Fig. 35 stelle *A* eine metallene Hohlkugel dar, die auf einem metallenen Fuße steht. In einer oben angebrachten Oeffnung steckt dicht schließend ein Schellackcylinder, durch dessen Mitte ein Draht geht, der oben die kleine Metallkugel *K*, unten die Metallkugel *B* trägt. Der Durchmesser der Kugel *A* ist ungefähr 8,5 Centimeter, der der Kugel *B* ist 6 Centimeter. — Die Kugel *A* besteht aus zwei, den Magdeburger Halbkugeln ganz ähnlichen Stücken, so daß man die obere Hälfte sammt dem Schellackcylinder und den Kugeln *K* und *B* abheben kann.

Faraday brauchte zu seinen Versuchen zwei ganz gleiche Apparate der Art, die er Vertheilungsapparate nennt.

Man kann einen solchen Vertheilungsapparat laden, wie man eine Leidener Flasche ladet, wenn man *K* mit einer Elektricitätsquelle, *A* aber mit dem Boden in leitende Verbindung setzt. *B* repräsentirt alsdann die innere Belegung, *A* die äußere, die Luftschicht zwischen beiden ersetzt die Glasbelegung.

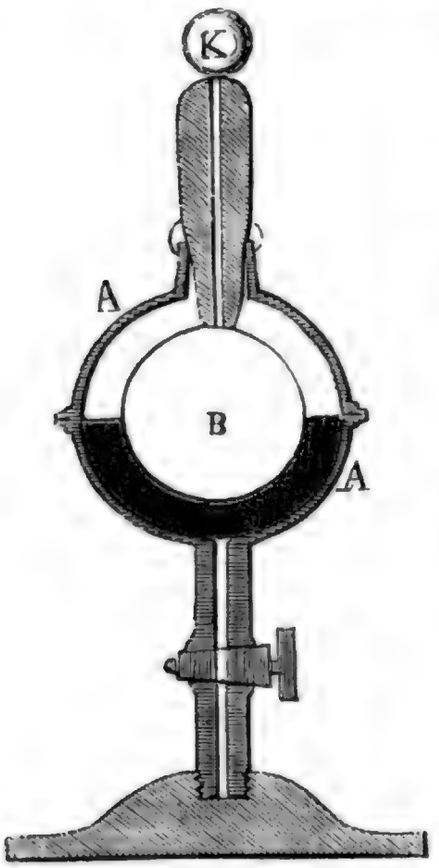
Ein solcher Vertheilungsapparat, den ich mit I bezeichnen will, wurde dadurch geladen, daß man *K* mit der Kugel einer geladenen Leidener Flasche berührt, während *A* gut abgeleitet war. Begreiflicherweise mußte, wie dies ja auch bei der inneren Belegung einer Leidener Flasche der Fall ist, auf *B* und *K* ein Ueberschuß freier Elektricität seyn, dessen Stärke an

einer Coulomb'schen Drehwage gemessen wurde. Um die Mittelpunkte der beiden Kugeln der Drehwage in einem Winkelabstande von 30° zu erhalten, war eine Torsion des Fadens von 250° nöthig.

Nun wurde mit dem Knopfe *K* des Vertheilungsapparates I der Knopf *K* eines ganz gleichen Vertheilungsapparates II berührt, während dessen äußere Kugel gut abgeleitet war. Die Ladung, welche vorher dem Apparate I allein mitgetheilt war, wurde auf diese Weise zwischen den beiden Vertheilungsapparaten getheilt. — Nach dieser Theilung wurde die Stärke der freien Elektricität der inneren Belegung für jeden der beiden Vertheilungsapparate gemessen; der ersteren entsprach eine Torsion von 124°, der andern eine Torsion von 122° an der Drehwage, um die Kugeln, wie immer, auf einem Winkelabstande von 30° zu erhalten; nach der Theilung war also die freie Elektricität auf der innern Belegung sehr nahe gleich, und zwar, wie vorauszusehen war, halb so groß, als auf I vor der Theilung, es hat sich also die Ladung auf die beiden Vertheilungsapparate ganz gleich vertheilt.

Nun wurde in dem Apparate II die Hälfte der Luft durch ein anderes di-elektrisches Mittel (so nennt nämlich Faraday diejenigen Mittel, durch welche hindurch eine elektrische Vertheilung stattfindet) ersetzt. Zunächst wurde Schellack versucht. Die obere Hälfte des Apparates II wurde abgehoben, in die untere Hälfte der Kugel *A* eine halbkugelförmige Schale von Schellack eingelegt, und nun die obere Hälfte des Apparates wieder aufgesetzt, so daß der Zwischenraum zwischen der unteren Hälfte beider Kugeln durch Schellack ausgefüllt war, wie dies Fig. 36 angedeutet ist.

Fig. 36.



Der Apparat I, welcher unverändert, wie beim vorigen Versuch blieb, wurde ganz in der früheren Weise geladen, und die freie Elektricität der innern Belegung an der Torsionswage gemessen. Auf diese Weise gab

der Apparat I . . . . . 290°

nun wurde die Ladung zwischen dem Apparate I und II getheilt, nach der Theilung gab

der Apparat I . . . . . 114°
der Apparat II . . . . . 113°

Auch hier ist die freie Elektricität der innern Belegung beider Apparate

nach der Theilung ſehr nahe gleich, allein ſie iſt weit geringer als die Hälfte der freien Elektricität der inneren Belegung des Apparates I vor der Theilung; daraus geht nun hervor, daß der Apparat II mehr als die Hälfte der Elektricität des Apparates I aufgenommen hat, ohne daß deshalb die freie Elektricität auf II größer wäre als auf I, und daraus ſchließt Faraday, daß durch Schellack hindurch eine kräftigere Bindung ſtattfinde.

Bezeichnen wir die Menge der freien Elektricität der inneren Belegung von I vor der Theilung mit 290, ſo iſt die Geſammtmenge der hier vorhandenen Elektricität $n.290$; nach der Theilung bleibt nur noch $n.114$; es iſt alſo $n(290 - 114) = n.176$ an den Apparat II abgegeben worden. Hier aber findet nun nach Faraday's Anſicht ein anderes Verhältniß zwiſchen der gebundenen und freien Elektricität Statt; die freie Elektricität iſt 113, die gebundene $n'113$, wir haben alſo

$$n'113 = n.176$$

alſo

$$n' = n.\frac{176}{163} = n.1{,}55;$$

durch Schellack hindurch findet alſo eine 1,55mal ſtärkere Bindung Statt als durch Luft, oder wie Faraday ſich ausdrückt: Schellack hat ein 1,55mal größeres ſpecifiſches Vertheilungsvermögen als Luft.

Durch ähnliche Verſuche fand Faraday das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen des Schwefels 2,24 mal ſo groß als das der Luft.

Für die verſchiedenartigſten Gaſe fand Faraday das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen gleich dem der Luft. Um verſchiedene Gaſe in den Apparat bringen zu können, war der Fuß durchbohrt und mit einem Hahn verſehen; man konnte ihn auf eine Luftpumpe ſchrauben, evacuiren und dann ein anderes Gas einlaſſen.

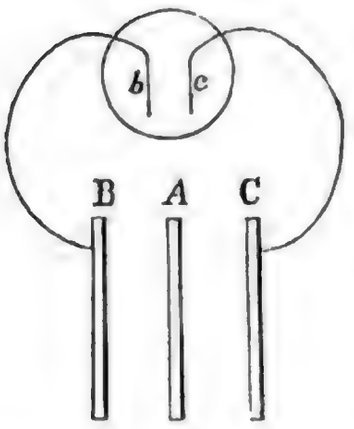
Auch Verdünnung und Erwärmung der Luft brachte keine Veränderung in ihrem ſpecifiſchen Vertheilungsvermögen hervor.

Faraday führt zur Begründung ſeiner Anſicht über das ſpecifiſche Vertheilungsvermögen noch weitere Verſuche an.

Es ſey *A*, Fig. 37, eine iſolirte Metallſcheibe, die in der Mitte zwiſchen zwei anderen gleichfalls iſolirten Metallſcheiben *B* und *C* aufgeſtellt iſt, *B* ſowohl als *C* wurden $^5/_4$ Zoll weit von *A* aufgeſtellt. Mit *C* war ein Draht verbunden, der mit dem Goldblättchen *c* endigte, ebenſo endigte ein an *B* befeſtigter Draht mit einem Goldblättchen *b*. — Die beiden Goldblättchen hingen 2″ weit von einander in einer Glasflaſche.

Es wurden jetzt *B* und *C* ableitend berührt, und der Platte *A* eine ſchwache poſitive Ladung ertheilt, wodurch *B* und *C* mit — *E* geladen

Fig. 37.



wurden. — Die Verbindung von *B* und *C* mit dem Boden wurde aufgehoben, so daß jetzt diese beiden Platten wieder isolirt waren, wobei die Goldblättchen *b* und *c* nach wie vor parallel neben einander hängen blieben.

Nun wurde eine Schellackplatte von $^3/_4$ Zoll Dicke in 4 Quadratzoll Größe an einem saubern Faden weißer Seide hängend, nachdem sie sorgfältig von jeder Ladung befreit worden war, zwischen die Platten *A* und *B* gebracht. Sogleich wurde das elektrische Verhalten der drei Platten gestört und eine Anziehung zwischen den Goldblättern hervorgerufen. Bei Fortnahme des Schellacks verschwand diese Anziehung wieder. Der Schellack mit einem empfindlichen Coulomb'schen Elektrometer untersucht, zeigte sich auch jetzt noch ohne Ladung.

Darin findet nun Faraday wieder eine Bestätigung seiner Ansicht, er erklärt den Hergang folgendermaßen: Sobald die Schellackplatte zwischen *A* und *B* eingeschoben wird, findet auf *B* eine stärkere Ladung negativer Elektricität Statt, es wird mehr positive zurückgestoßen, die sich nach *b* verbreitet; weil aber *A* stärker gegen *B* wirkt als vorher, so muß auch negative Elektricität in *C* frei werden, *c* wird also freie — *E* enthalten, während auf *b* freie + *E* ist, daher die Anziehung der Blättchen. Wie Faraday geprüft hat, daß auf *b* und *c* wirklich diejenige Elektricität frei wird, wie es seiner Theorie zufolge seyn muß, findet sich in seiner Abhandlung nicht angegeben.

Die Faraday'schen Versuche sind vollkommen richtig, aber es scheint mir, als habe er diese Versuche falsch gedeutet und Schlüsse aus ihnen gezogen, zu denen er nicht berechtigt war. — Hier die Gründe für meine Behauptung:

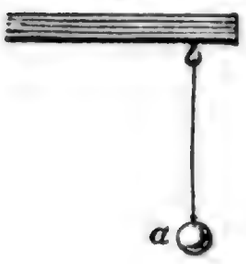
Wenn einem isolirten elektrischen Körper *A* ein zweiter Leiter *B* gegenübersteht, der mit dem Boden in leitender Verbindung ist, so wird auf *B* eine bestimmte Menge Elektricität gebunden. Auf *A* ist dann ein Theil der hier befindlichen *E* durch die entgegengesetzte auf *B* gebunden, ein Theil ist frei. Wird nun Schellack zwischen *A* und *B* gebracht, so ist nun auf *A* mehr Elektricität gebunden und weniger frei als vorher; dies ist die Thatsache, welche aus den Versuchen Faraday's mit dem Vertheilungsapparat hervorgeht. Er schließt aber weiter und sagt: durch den Schellack hindurch findet eine stärkerr Vertheilung Statt, und diese Behauptung hat er durch keinen Versuch bewiesen; hätte er diese Behauptung rechtfertigen wollen, so hätte er zeigen müssen, daß auf *B* bei gleicher Ladung von *A* mehr *E* gebunden wird, wenn Schellack sich zwischen bei-

den befindet, als wenn Luft der ſie trennende Iſolator iſt. Der in Fig. 37 angedeutete Verſuch iſt eben ſo wenig geeignet wie der Verſuch mit dem Vertheilungsapparat, um hierüber Aufſchluß zu geben.

Der folgende Verſuch dürfte aber wohl geeignet ſeyn die Frage zur Entſcheidung zu bringen.

Unter einer iſolirt aufgehängten elektriſirten Metallkugel *a*, Fig. 38, von 1 bis 2 Zoll Durchmeſſer, ſtelle man ein Goldblatt- oder Strohhalmelektrometer in ſolcher Entfernung auf, daß man eine namhafte Divergenz enthält. — Die Kugel *a* ſey mit $+E$ geladen, ſo iſt in der Platte des Elektrometers *b* $-E$ gebunden, die von *a* abgeſtoßene $+E$ iſt in die Pendel getrieben, daher ihre Divergenz.

Fig. 38.



Nun ſchiebe man eine Schellackplatte zwiſchen *a* und *b* ein.

Iſt Faraday's Anſicht richtig, ſo muß durch den Schellack hindurch eine ſtärkere Bindung ſtattfinden als vorher; in der Elektrometerplatte muß noch $-E$ gebunden werden, es muß alſo auch mehr $+E$ in die Pendel getrieben werden, die Divergenz derſelben muß alſo wachſen.

Der Verſuch zeigt aber, daß die Divergenz der Pendel abnimmt, ſobald man die Schellackplatte einſchiebt.

Durch den Schellack hindurch findet alſo entſchieden keine ſtärkere Bindung Statt als durch Luft.

Wenn von der auf *a* befindlichen Elektricität nach dem Einſchieben der Schellackplatten ein größerer Theil gebunden iſt als vorher, ſo rührt dies alſo offenbar nur von einer gegenſeitigen Wirkung zwiſchen *a* und der Schellackplatte, keineswegs aber daher, daß durch Schellack eine ſtärkere Vertheilung ſtattfindet.

Einen dieſem ähnlichen Verſuch hat ſchon Knochenhauer angeſtellt, er hat aber die Bedeutung deſſelben durchaus nicht richtig erkannt.

Statt des Elektrometers mit zwei Pendeln wandte Knochenhauer ein Säulenelektrometer an (P. A. LI, 126). Während dem Leiter *a* (bei Knochenhauer's Verſuchen eine Metallplatte ſtatt einer Kugel, was aber für den Erfolg ganz gleichgültig iſt) eine ſchwache poſitive Ladung ertheilt wurde, war die Platte des Säulenelektrometers ableitend berührt; in dieſer Platte war alſo $-E$ gebunden. Schob er nun eine Schellackplatte zwiſchen die Elektrometerplatte und den elektriſchen Leiter *a* ein, ſo erhielt er einen Ausſchlag des Goldblatts, und zwar behauptet er: »daß unmittelbar mit dem Einſchieben (der Schellackplatte) das Goldblättchen des Elektrometers frei poſitive Elektricität anzeigte, ſo daß alſo

jetzt auf der unteren Scheibe mehr negative gebunden war;« dies wäre freilich ganz mit Faraday's Ansicht übereinstimmend. Allein dies Resultat steht mit dem von mir angestellten Versuche mit dem Strohhalmelektrometer im directen Widerspruch. Nach meinem Versuche mußte ich erwarten, daß der Ausschlag freie negative Elektricität des Goldblättchens zeigte.

Es war zu vermuthen, daß sich Knochenhauer in Beziehung auf die Pole seines Goldblattelektrometers geirrt hat, daß er einen negativen mit einem positiven Ausschlag verwechselte.

Um darüber in's Reine zu kommen, wiederholte ich Knochenhauer's Versuche. Die Kugel *a* wurde mit $+E$ geladen, und als eine Schellackplatte zwischen *a* und dem Elektrometer eingeschoben wurde, bewegte sich das Goldblättchen nach dem positiven Pol der Säule, d. h. nach demselben, nach welchen es ausschlägt, wenn man von Oben eine geriebene Harzstange nähert, das Goldblättchen erhielt also durch das Einschieben der Schellackplatte freie $-E$.

Wäre Knochenhauer's Behauptung die richtige, so müßte das Goldblättchen beim Einschieben der Schellackplatte (während *a* positiv ist) nach derselben Seite ausschlagen, nach welcher es ausschlägt, wenn man dem Elektrometer von Oben eine mit Seide geriebene Glasstange nähert. Das Nähern der geriebenen Glasstange brachte aber einen Ausschlag hervor, welcher dem entgegengesetzt war, der das Einschieben der Schellackplatte bewirkte. Somit ist Knochenhauer's Irrthum in Beziehung auf die Natur des Ausschlages dargethan.

Faraday's Ansicht, daß durch Schellack hindurch eine stärkere Bindung stattfinde als durch Luft, ist demnach entschieden unrichtig. Die angeführten Versuche mit dem Strohhalmelektrometer sowohl als mit dem Säulenelektrometer widersprechen ihm direct.

Wie aber sind alle die angeführten Erscheinungen zu erklären? Ich erlaube mir darüber nur einige Andeutungen, welche vielleicht geeignet seyn dürften den Weg anzudeuten, welchen man einschlagen muß, um die Frage zur definitiven Entscheidung zu bringen.

Schiebt man zwischen der elektrisirten Kugel *a*, Fig. 38, und dem Strohhalmelektrometer einen nicht isolirten Leiter ein, so fallen die Pendel ganz zusammen. Es ist dies nach den bekannten Gesetzen nicht anders zu erwarten.

Schiebt man zwischen *a* und dem Elektrometer eine isolirte Metallscheibe ein, so findet eine bedeutende Verminderung der Divergenz der Pendel Statt, sie fallen jedoch nicht ganz zusammen. Es ist dies jedenfalls die Folge einer vertheilenden Wirkung, welche *A* auf die eingeschobene isolirte Metallscheibe ausübt.

Schiebt man zwiſchen *a* und dem Elektrometer eine Schellackſcheibe ein, ſo findet ebenfalls eine Verminderung der Divergenz Statt, doch nicht ſo bedeutend wie beim Einſchieben der iſolirten Metallſcheibe. Es ſcheint dies darauf hinzudeuten, daß der elektriſche Körper *a* auch im Schellack eine Vertheilung bewirkt, wenn auch nicht ſo ſtark wie in einem guten Leiter. In der That wiſſen wir ja auch, daß Schellack zwar ein ſehr ſchlechter Leiter, aber doch kein abſoluter Iſolator iſt.

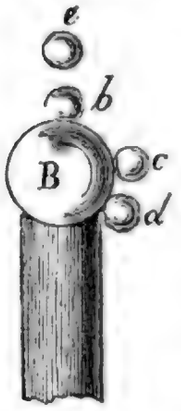
Etwas ähnliches ſcheint auch Knochenhauer in dem citirten Aufſatze andeuten zu wollen.

Jedenfalls iſt dieſer Gegenſtand einer näheren Unterſuchung zu unterwerfen; nur ſoviel ſteht feſt, daß durch ſtarre Iſolatoren hindurch keine ſtärkere Bindung ſtattfindet als durch Luft, wie dies Faraday's Anſicht iſt.

23 **Vertheilung in krummen Linien.** Sehen wir nun wie Faraday die Vertheilung in krummen Linien darzuthun ſucht.

Ein Schellackcylinder von 0,9 Zoll Durchmeſſer, welcher vertikal aufgeſtellt werden kann und oben eine Vertiefung hat, wird durch Reiben elektriſch gemacht, und eine Meſſingkugel von 1 Zoll Durchmeſſer aufgelegt. Nun wurde eine iſolirte Probekugel an die mit *d*, *c*, *b* und *e* bezeichneten Stellen gebracht, einen Augenblick ableitend berührt, und dann unterſucht, ob, und welche elektriſche Ladung ſie habe. Es ergab ſich, daß dieſe Probekugel ſowohl bei *d* und *c*, als auch bei *b* und *e*, eine poſitive Ladung erhalten hatte.

Fig. 39.



Das Reſultat dieſer Verſuche hat nicht das mindeſte Auffallende, man hätte den Erfolg wohl vorausſehen können. Die Kugel *B* wird durch Vertheilung poſitiv elektriſch; auf die Probekugel, wo ſie ſich auch befinden mag, alſo auch in *b* und *e*, wirkt gleichzeitig die $-E$ des Schellackcylinders und die gebundene $+E$ der Kugel *B*; die Wirkung des Schellackcylinders iſt überwiegend, folglich wird die Probekugel ſowohl in *b* als auch in *e* mit gebundener $+E$ geladen werden müſſen.

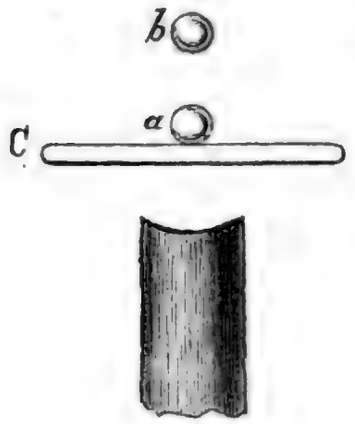
Es iſt dies ein ganz analoger Fall, wie der auf Seite 35 beſprochene.

Daß Faraday hier etwas Beſonderes findet, was mit den bisherigen Vorſtellungen über die Wirkung der Elektricität in die Ferne im Widerſpruch ſtehen ſoll, iſt ein Beweis, daß er von den Grundſätzen der ſtatiſchen Elektricität durchaus keine klare Vorſtellung hat. Er macht ſich von dem Hergang der Sache folgende Vorſtellung: Die Probekugel iſt in *b* ſowohl als in *e* durch Vertheilung elektriſch geworden, da man nun aber weder von *b* noch von *e* aus den Schellackcylinder ſehen kann, ſo

muß also die Vertheilung um *B* herum durch die Luft, es muß also eine Vertheilung in krummen Linien stattgefunden haben. Um zu dieser Erklärung kommen zu können, muß Faraday natürlich annehmen, daß durch einen Leiter hindurch gar keine vertheilende Wirkung stattfinden könne.

Daß durch Metall hindurch keine Vertheilung stattfinden könne, dafür glaubt Faraday sogar einen Beweis liefern zu können. Ueber den Schellackcylinder wurde eine Metallscheibe *C* Fig. 40 gehalten, und für einen Augenblick ableitend berührt, so daß sie sich durch Vertheilung mit + *E* laden mußte. Wurde nun eine Probescheibe oder eine kleine Probekugel in *a* dicht über die Mitte der Scheibe gehalten und für einen Augenblick ableitend berührt, so zeigte sie doch durchaus keine Ladung, woraus Faraday schloß, daß die Elektricität des Schellackcylinders nicht durch die Metallscheibe hindurch vertheilend wirken kann, erhebt man aber die Probekugel etwa bis *b*, so empfängt sie hier eine positive Ladung, welche nach Faraday's Ansicht daher rührt, daß die Vertheilung in krummen Linien um die Platte herum fortschreitend auf den Punkt *b* wirken kann.

Fig 40.



Denselben Versuch in etwas anderer Form hat auch Fechner in der schon oben Seite 37 angeführten Abhandlung (P. A. LI. 321) besprochen, er hat gezeigt, daß die Erscheinung, wie sie auch Faraday beschreibt, eine nothwendige Folge der bekannten Gesetze der Bindung und Vertheilung sind.

Fechner sagt:

»Daß das Maximum der Wirkung in einiger Entfernung von der »oberen Scheibe*) eintritt, kann nichts auffallendes haben. Für alle »Punkte der oberen Scheibe muß die Wirkung der negativen Elektricität, »die sie enthält, genau im Gleichgewicht seyn mit der Wirkung der positi»ven Elektricität der unteren Scheibe, sonst müßte mehr oder weniger »Elektricität in der oberen Scheibe zersetzt werden, und sich mehr ansam»meln als es der Fall ist. Erhebt man aber die Prüfungsplatte über »die obere Scheibe, so nimmt ihr Abstand von den Punkten der oberen »Scheibe in anderm Verhältniß zu, als von denen der untern Scheibe, da»her fängt diese (nämlich die Wirkung der unteren Scheibe) an zu über-

*) Fechner hatte statt des Schellackcylinders eine positiv elektrische isolirte Metallplatte, die er die untere nennt, angewandt.

»wiegen. Inzwiſchen kann die Wirkungszunahme mit der Erhebung der »Prüfungsplatte nur bis zu einem gewiſſen Maximum gehen, weil bei »großer Entfernung die Wirkung jeder Scheibe für ſich ſchon verſchwindet.«

Dieſe Erſcheinungen ſind alſo durchaus kein Beweis für die Vertheilung in krummen Linien, und überhaupt läßt ſich behaupten, daß Faraday für die Anſicht, daß die Vertheilung durch die Vermittlung der Theilchen des zwiſchenliegenden Iſolators vor ſich gehe, durchaus keinen haltbaren Beweis geliefert hat.

24 **Faraday's Vertheilungstheorie.** Faraday ſucht in der 12ten und 13ten Reihe ſeiner Experimentalunterſuchungen (P. A. XLVII. und XLVIII.) ſeine Vertheilungstheorie noch durch die Betrachtung der verſchiedenen Formen der elektriſchen Entladung zu unterſtützen. Er klaſſificirt die verſchiedenen Entladungsarten, indem er ſie eintheilt in Entladung durch Leitung, elektrolytiſche Entladung, zerreißende Entladung (Funken, Büſchel u. ſ. w.) und fortführende Entladung.

Bei der Betrachtung der Entladung durch Leitung ſucht Faraday darzuthun, daß der Unterſchied zwiſchen Iſolatoren und Leitern nur ein quantitativer ſey, eine Wahrheit, die meines Wiſſens noch Niemand in Zweifel gezogen hat.

Der elektrolytiſchen Ladung, ſagt Faraday, geht eine vertheilende Wirkung durch das Elektrolyt hindurch voraus; der Vertheilungszuſtand iſt in der That ein nothwendiger Vorläufer der Entladung, der Zerſetzung geht ein Polariſations- ein Spannungszuſtand den Theilchen der zu zerſetzenden Flüſſigkeit voraus. — Auch dagegen iſt nichts einzuwenden.

Für die zerreißende Entladung ſucht Faraday gleichfalls nachzuweiſen, daß die Theilchen des Di-elektriums, durch welches hindurch die Entladung, ſey es nun in Form von Funken oder Büſcheln, ſtattfindet, ſich in einem Spannungs- oder Polariſationszuſtande befinden, von welchem übrigens Faraday trotz der unendlich weitläufigen Beſprechung des Gegenſtandes keineswegs eine klare Vorſtellung giebt. Seine theoretiſchen Betrachtungen über dieſen Punkt ſind eben ſo gedehnt, wie ſie dunkel und unverſtändlich ſind, mir wenigſtens iſt es nicht gelungen, mir eine klare Vorſtellung davon zu machen, wie ſich wohl Faraday den Polariſationszuſtand der iſolirenden Theilchen denkt, welchen die elektriſche Entladung, ſey es in Form von Funken oder Büſcheln, vorausgeht.

Wenn wir uns von einem ſolchen Spannungs- oder Polariſationszuſtande der Lufttheilchen, welche der Funken- oder Büſchelentladung vorausgeht, auch keine klare Vorſtellung machen können, ſo iſt doch die Exiſtenz eines ſolchen Zuſtandes keineswegs zweifelhaft, ſo wenig wie eine ſolche

Annahme mit den bisherigen elektrischen Theorien im Widerspruch steht; Faraday aber geht weiter; er sieht in diesem Polarisationszustande einen Beweis, daß die elektrische vertheilende Wirkung, welche durch die Luft oder das sie ersetzende Di-elektricum hindurch stattfindet, durch diesen Polarisationszustand vermittelt werde. Für die Richtigkeit dieser Ansicht ist jedoch Faraday den Beweis vollständig schuldig geblieben.

In der Absicht, seine Vertheilungstheorie dadurch zu begründen, führt Faraday viele Versuche über Funken und Büschel an, die, wenn sie auch vor der Hand noch keine so hohe theoretische Bedeutung haben, doch als interessante und wichtige Thatsachen an einer andern Stelle besprochen werden sollen.

Da Leitung und Isolation nur quantitativ verschiedene Zustände sind, so meint Faraday, daß auch in besser leitenden Flüssigkeiten eine fortführende Entladung stattfinden könnte, wenn nur eine hinlängliche Quantität von Elektricität vorhanden wäre. Der folgende Versuch möchte diese Ansicht wohl unterstützen.

Zwei Platindrähte, welche die Pole einer starken Volta'schen Batterie bildeten, wurden nahe und neben einander in eine starke Glasröhre mit destillirtem Wasser, welches einige Fäserchen enthielt, hermetisch eingeschmolzen. Als vermöge des in Folge der fortdauernden Gasentwickelung verstärkten Druckes die Blasen an dem Elektroden so klein geworden waren, daß sie nur schwach aufsteigende Ströme anzeigten, konnte bemerkt werden, daß die Fäserchen zwischen beiden Drähten angezogen und abgestoßen wurden, wie sie es zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Flächen in Luft oder Terpentinöl geworden wären; sie bewegten sich so rasch, daß sie die Blasen und Ströme, welche diese zu bilden suchten, verschoben und störten. Nun glaubt Faraday, daß es kaum bezweifelt werden könne, daß unter ähnlichen Umständen bei einem reichlichen Zuflusse von Elektricität, besonders von hinlänglicher Spannung, fortführende Ströme gebildet worden wären. Die Anziehungen und Abstoßungen der Fäserchen waren in der That die Elemente solcher Ströme, und deshalb ist Wasser, obgleich es als Leiter fast unendlich über Luft und Terpentinöl steht, ein Medium, in welchem ähnliche Ströme stattfinden können.

Faraday's Theorie behauptet, nicht über die Folgerungen hinsichtlich eines Vacuums zu entscheiden. Nach seiner Ansicht sind die elektrischen Erscheinungen, wie die der Vertheilung, Leitung, Isolation bedingt und erzeugt worden durch die Wirkung angrenzender Körpertheilchen, wobei das nächste Theilchen als ein angrenzendes zu betrachten ist; ferner nimmt Faraday an, daß diese Theilchen polarisirt werden, und daß sie nur durch Wirkung der angrenzenden und intermediären Theilchen in die Ferne wirken.

Allein angenommmen, daß in die Bahn der Vertheilungslinien ein Vacuum trete, so folgt nicht aus dieser Theorie, sagt Faraday, daß die Theilchen auf der andern Seite desselben nicht auf einander wirken können. Gesetzt, sagt er, es sey einem positiv elektrisirten Theilchen möglich, im Mittelpunkte eines Vacuums von 1 Zoll Durchmesser zu existiren, so hindert nichts in meiner Theorie das Theilchen, in der Entfernung von ½ Zoll auf alle die Grenzfläche der Kugel bildende Theilchen zu wirken, mit einer Kraft, gemäß der bekannten Gesetze der Quadrate der Entfernung.

Hier nimmt also Faraday doch wieder die actio in distans an.

In der vierzehnten Reihe von Experimental-Untersuchungen (P. A. Ergänzungsband von 1842) stellt Faraday seine Ansichten über die Natur der elektrischen Kräfte und namentlich über den die Vertheilung begleitenden Spannungszustand etwas zusammen; ich will diese Zusammenstellung wörtlich anführen:

»1669. Die Theorie (nämlich Faraday's Theorie) nimmt an, daß »alle Theilchen, sowohl von isolirenden als leitenden Substanzen, als »Ganze Leiter sind.

»1670. Daß sie in ihrem Normalzustande nicht polar sind, es aber »durch den Einfluß benachbarter geladener Theilchen werden können, und »der Polarzustand in einem Augenblicke entwickelt werden kann, genau »wie in einer isolirten leitenden Masse von vielen Theilchen.

»1671. Daß die Theilchen polarisirt in einem Zwangszustande befind»lich sind, und in ihren normalen oder natürlichen Zustand zurückzukeh»ren suchen.

»1672. Daß sie, da sie als Ganze Leiter sind, leicht geladen werden »können, entweder massenhaft oder polar (bodily or polarly).

»1673. Daß Theilchen, welche in der Linie der Vertheilungswirkung »an einander liegen, ihre Polarkräfte mehr oder weniger leicht »einander mittheilen oder auf einander übertragen können.

»1674. Daß in denen, die dieses weniger leicht thun, die Polarkräfte »auf einen höheren Grad steigen, bevor diese Uebertragung oder Mittheilung stattfindet.

»1675. Daß die leichte Mittheilung der Kräfte zwischen angrenzenden »Theilchen: Leitung, und die schwierige: Isolation ausmacht, daß »Leiter und Isolatoren Körper sind, deren Theilchen von Natur die Eigen»schaft besitzen, ihre respectiven Kräfte leicht oder schwierig mitzutheilen, »und daß die Körper darin gerade so verschieden sind, als in andern na»türlichen Eigenschaften.

»1676. Daß die gewöhnliche Vertheilung das Resultat ist der Ein»wirkung der mit erregter oder freier Elektricität geladenen Substanz auf

»isolirende Substanz, und in dieser den entgegengesetzten Zustand zu glei»chem Betrage zu erregen sucht.

»1677. Daß sie [die geladene Substanz (P.)] dies nur vermag durch »Polarisation der dicht angrenzenden Theilchen, welche dasselbe bei den näch»sten bewirken, diese wiederum bei den folgenden, und daß so die Wirkung »fortgepflanzt wird von dem erregten Körper zu der nächsten leitenden »Masse, und daselbst die entgegengesetzte Kraft sichtbar macht, in Folge des »Effects der Mittheilung, welche in der leitenden Masse nach der Polari»sation der Theilchen (of that body) hinzutritt (1675).

»1678. Daß Vertheilung deshalb nur durch Isolatoren hin statt»finden kann; daß Vertheilung Isolation ist, und die nothwendige Folge »des Zustandes der Theilchen und der Art, wie der Einfluß elektrischer »Kräfte quer durch solche isolirende Media fortgepflanzt oder durchgelassen »wird.«

»1679. Die Theilchen eines isolirenden Di-elektricum, das unter Ver»theilung steht, können verglichen werden mit einer Reihe kleiner Magnet»nadeln, oder, noch richtiger, mit einer Reihe kleiner isolirter Conductoren. »Wenn der Raum rings um eine geladene Kugel gefüllt wäre mit einem »Gemeng von einem isolirenden Di-elektricum, wie Terpentinöl oder Luft, »und kleinen kugelförmigen Leitern, wie Schrot, in der Weise, daß diese »etwas von einander abständen, um isolirt zu seyn, so würden diese in »ihrem Zustande und ihrer Wirkung genau dem ähneln, was ich glaube, »der Zustand und die Wirkung der Theilchen des isolirenden Di-elektricum »selbst ist. Wäre der Körper geladen, so würden alle diese kleinen Leiter »polar; würde man die Kugel entladen, so würden alle in ihren Normal»zustand zurückkehren, um bei Wiederladung der Kugel abermals polarisirt »zu werden. Der mittelst Vertheilung quer durch solche Theilchen in einer »entfernten leitenden Masse erregte Zustand würde von entgegengesetzter »Art seyn, und im Betrage genau gleich der Kraft der vertheilenden Ku»gel. Es würde daselbst eine Seitenverbreitung der Kraft (1224. 1297) »stattfinden, weil jedes polarisirte Kügelchen in einer thätigen oder Span»nungs-Beziehung zu allen ihm benachbarten stände, gerade so, wie ein »Magnet auf zwei oder mehre benachbarte Magnetnadeln wirken kann, »und diese wiederum auf eine noch größere Zahl jenseits liegende wirken »können. Hieraus würden krumme Linien der Vertheilungskraft entste»hen, wenn der vertheilte Körper in solch einem gemischten Di-elektricum »eine unisolirte metallische Kugel (1219 ꝛc.) oder andere gehörig geformte »Masse wäre. Solche krummen Linien sind die Folgen zweier elektrischen »Kräfte, so geordnet, wie ich es annehme; und daß die Vertheilungskraft »nach solchen krummen Linien gerichtet werden kann, ist der strengste Be-

»weis des Daſeyns der beiden Kräfte und des Polarzuſtands der di-elek-»triſchen Theilchen.

»1680. Ich glaube, es iſt einleuchtend, daß in dem angegebenen Falle »die Wirkung in die Ferne nur aus einer Wirkung der anliegenden lei-»tenden Theilchen übergehen kann. Kein Grund iſt da, warum der ver-»theilende Körper entfernte Leiter polariſiren oder afficiren und die be-»nachbarten, namentlich die Theilchen des Di-elektricums unafficirt »laſſen ſollte; alle Thatſachen und Verſuche mit leitenden Maſſen oder »Theilchen von beträchtlicher Größe widerſprechen einer ſolchen Voraus-»ſetzung.«

Faraday ſtellt ſich alles dem eben mitgetheilten zu Folge ungefähr wie ein Aggregat kleiner Leiter vor, die durch eine iſolirende Subſtanz getrennt ſind; die vertheilende Wirkung von einem Theilchen zum andern muß er ſich alſo gerade ſo vorſtellen, wie man ſich gewöhnlich den Vorgang der Vertheilung zwiſchen zwei Leitern denkt; zwiſchen zwei Theilchen des Iſo-lators muß er alſo auch eine actio in distans in der gewöhnlichen Art annehmen. Da er alſo in letzter Inſtanz doch wieder eine Wirkung in die Ferne und iſolirende Zwiſchenräume annehmen muß, ſo iſt wahrlich wenig Grund vorhanden, in dieſem Falle die bisher gangbaren Vorſtellungen fallen zu laſſen, die allerdings manches Mangelhafte haben mögen, die man aber doch ſo lange wird beibehalten müſſen, bis ſchlagendere Beweiſe nicht allein ihre Unzulänglichkeit, ſondern auch ihre Unrichtigkeit darthun.

Im weiteren Verlaufe der vierzehnten Reihe beobachtet Faraday das Vertheilungsvermögen kryſtalliſirter Körper nach verſchiedenen Richtungen hin. — Nach ſeinen Vorſtellungen über ſpecifiſches Vertheilungsvermögen wäre es wohl denkbar, daß kryſtalliſirte Körper nicht nach allen Richtungen hin gleiches Vertheilungsvermögen haben, daß z. B. Bergkryſtall oder Kalkſpath in der Richtung ihrer optiſchen Axe ein größeres oder geringeres Vertheilungsvermögen hätten, als rechtwinklig zu derſelben. Faraday's Verſuche laſſen die Frage durchaus unentſchieden, indem ſich in den meiſten Fällen nur höchſt geringe Unterſchiede zeigten, in andern Fällen aber, wo ſich größere Differenzen ergaben, farbige Schichten im Kryſtall, Sprünge und dergleichen eine ſtörende Wirkung gehabt haben können. Ich halte es nicht für nöthig, hier mehr ins Einzelne zu gehen.

Faraday's Anſichten über die elektriſche Vertheilung mußten ihm nothwendig die Frage aufdrängen, ob die magnetiſchen Anziehungen und Abſtoßungen, wie man bisher annahm, einer Wirkung in die Ferne zuzuſchreiben ſind, oder ob auch der Magnetismus in ähnlicher Weiſe durch die Vermittelung intermediärer Theilchen in die Ferne wirke, analog, wie er es ſich bei der Vertheilung der ſtatiſchen Elektricität denkt.

Die Verſuche, welche Faraday zur Löſung dieſer Frage anſtellte, ga-

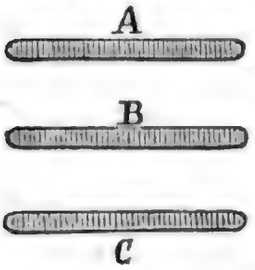
ben durchaus negative Resultate, mochte er nun Schellack-, Schwefel- oder Kupferplatten als Zwischenkörper anwenden. Es war hier kein Zeichen vom Einfluß intermediärer Theilchen zu erlangen.

Wenn auch die ersten Versuche nicht dafür sprechen, daß der Magnetismus durch die Vermittelung zwischenliegender Theilchen in die Ferne wirke, so wäre es doch denkbar, daß ein Magnet dennoch auch alle Theilchen der ihn umgebenden nicht magnetischen Körper afficire, sie in einen eigenthümlichen Spannungszustand versetze, ähnlich dem Spannungszustande des Di-elektricums, durch welches hindurch Vertheilung von einem Leiter zu einem andern stattfindet, und sicherlich ist Faraday durch das Bestreben, Beweise für einen solchen Zustand aufzufinden, zur Entdeckung der Drehung der Polarisationsebene durch Magnetpole und durch galvanische Ströme, so wie des Diamagnetismus geleitet worden, Entdeckungen, die allein hinreichen würden, seinen Namen in der Geschichte der Wissenschaft unsterblich zu machen.

Munck af Rosenschöld, über Vertheilung und Bindung. 25
Im 69sten Bande von Poggendorff's Annalen findet sich ein Aufsatz von Munck af Rosenschöld, in welchem ebenfalls Vertheilung und Bindung der Elektricität besprochen wird. Bei seinen etwas gedehnten Betrachtungen, in welchen er natürlich auch viel Bekanntes zur Sprache bringt, geht er von der richtigen Ansicht über Vertheilung aus, welche auch von Rieß und Fechner vertreten worden ist.

Folgendes möchte wohl das wichtigste aus Rosenschöld's Aufsatze seyn.

Fig. 41.



Die Scheibe A, Fig. 41, sey elektrisch und wirke vertheilend auf B und C. — Die auf A vorhandene Elektricitätsmenge sey E, so wird sie auf dem mit einem dünnen Drahte ableitend berührten B die Elektricitätsmenge $-mE$ binden. Nun wird die Scheibe C in den elektrischen Schatten von B gebracht und ebenfalls ableitend berührt, so wirkt auf diese Scheibe sowohl A als auch B. Bezeichnen wir mit m' den Bindungscoefficienten, welchem die Entfernung zwischen B und C zukommt, so wird von B aus in C gebunden $m' \,.\, mE$, da mE die auf B vorhandene Elektricität bezeichnet, allein von A aus wird auf C gebunden $-m''E$, wenn m'' den der Entfernung von A nach C entsprechenden Bindungscoefficienten bezeichnet; auf C wird also gebunden seyn

$$c = mm'E - m''E.$$

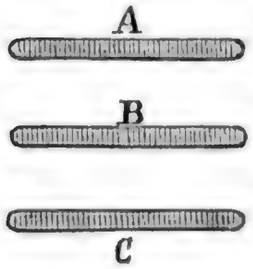
Die Dichtigkeit der auf C gebundenen Elektricität ist nur stets gering, wäre sie ganz Null, so hätte man

$$m \,.\, m' = m''.$$

Wäre dies wirklich streng wahr, so wäre m^2, m^3, m^4 u. s. w. der Bindungscoefficient für die Entfernungen 2, 3, 4, wenn m den Bindungscoefficienten für die Entfernung 1 bezeichnet, oder mit andern Worten, die Entfernungen wären die Logarithmen der Vertheilungscoefficienten.

Die gebundene Elektricität auf C ist aber nicht Null, wenn sie auch schwach ist. Sie wird unmerklich, wenn C sehr nahe an B, oder auch wenn A sehr nahe an B gerückt wird, für eine bestimmte Entfernung zwischen A und C wird die gebundene Elektricität ein Maximum, wenn sich B gerade in der Mitte zwischen beiden befindet.

Fig. 42.



Diese Beziehungen hat schon Fechner ermittelt und in seiner erwähnten Abhandlung ausgesprochen (siehe Seite 37).

Rosenschöld suchte nun zu bestimmen, in welchem Verhältnisse sich die Menge der auf C gebundenen Elektricität ändert, wenn einmal die Zwischenplatte B isolirt bleibt, dann aber ableitend berührt wird.

Die Scheiben A, B und C hatten 6 Zoll im Durchmesser, die Entfernung von A und C betrug 9″, B war in der Mitte zwischen beiden. War nun B ableitend berührt, so fand Rosenschöld, daß die auf C gebundene Elektricität nur $\frac{1}{75}$ von derjenigen war, welche auf C gebunden wurde, von B isolirt blieb. Im letzteren Falle, d. h. wenn B isolirt bleibt, ist es nach Rosenschöld's Versuchen ziemlich gleichgültig, ob die Scheibe B vorhanden ist oder nicht.

Als nun die Entfernung von A und C halb so groß gemacht wurde, war die Elektricität, welche auf C gebunden wurde, wenn B ableitend berührt war, nur $\frac{1}{235}$ von der, welche für den Fall gebunden wurde, wenn B isolirt blieb.

Als A und C 2 Fuß von einander abstanden, war die auf C gebundene Elektricität überhaupt nicht bedeutend, bei ableitend berührtem B betrug aber die gebundene Elektricität auf C doch noch mehr als die Hälfte von der, welche bei isolirtem B beobachtet wurde.

Aehnliche Versuche wurden mit dreizölligen Scheiben gemacht.

Als A und C 9 Linien von einander abstanden, war bei abgeleitetem B die auf C gebundene Elektricitätsmenge $\frac{1}{27}$ von der bei isolirtem B auf C gebundenen.

Als Endresultat dieser Versuche ergab sich, daß m'' nur wenig von mm' verschieden ist, so lange die Entfernung der Scheiben A und C $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{8}$ ihres Durchmessers nicht übersteigt.

Was die obigen Verhältnißzahlen $\frac{1}{75}$, $\frac{1}{235}$, $\frac{1}{27}$ betrifft, so ist zu bemerken, daß Rosenschöld nicht gehörig angegeben hat, wie er die Angaben seiner Elektrometer, die er zu diesen Messungen benutzte, gehörig vergleichbar machte.

Rieß, über Influenz-Elektricität und die Theorie des Condensators. 26 Die letzte hierher gehörige Arbeit, welche wir noch zu besprechen haben, ist diejenige, welche Rieß im 73sten Bande von Poggendorff's Annalen unter dem Titel: »über Influenz-Elektricität und die Theorie des Condensators« publicirt hat. Mit dem Namen Influenz-Elektricität bezeichnet Rieß das, was man gewöhnlich gebundene Elektricität nennt, eine Bezeichnung, die, wie Rieß in der historischen Einleitung zu seinem Aufsatze zeigt, viel zur Befestigung irriger Ansichten über das Wesen der Influenz-Elektricität beigetragen hat.

Lichtenberg hat den Ausdruck »gebundene« Elektricität zuerst in die Wissenschaft eingeführt. Lichtenberg spricht von der gebundenen, latenten oder todten Elektricität im Gegensatze zu der freien, sensibelen, er unterscheidet von dem gewöhnlichen elektrischen Zustande einen andern, in welchem die Elektricität zwar vorhanden, aber wirkungslos, todt, latent seyn soll, ganz analog der gebundenen Wärme. (Erxleben, Anfangsgründe der Naturlehre. 3te Aufl. mit Zusätzen von Lichtenberg. 784. Seite 499.)

Dies ist für die Wissenschaft von sehr nachtheiligen Folgen gewesen, und hat Veranlassung zu den abentheuerlichsten Vorstellungen über das Wesen der gebundenen Elektricität gegeben, welche, hartnäckig vertheidigt, wie wir ja oben gesehen haben, nur mit vieler Mühe berichtigt werden konnten. Doch können wir wohl jetzt die Meinung, als ob der gebundenen Elektricität ganz besondere Eigenschaften zukämen, als eine überwundene ansehen.

Biot stellt die Theorie des Condensators und der Leidener Flasche ungefähr so dar. Wenn einer isolirten Metallplatte die Elektricitätsmenge 1 mitgetheilt wird, so wird diese in einer nahe gestellten ableitend berührten Metallplatte die Elektricitätsmenge m binden, die dann wieder auf die erste Scheibe zurückwirkend in dieser die Elektricitätsmenge m^2 bindet, so daß nur noch die Elektricitätsmenge $1 - m^2$ als freie Elektricität übrig bleibt. Ist E die größte Elektricitätsmenge, welche die isolirte Platte einzelnstehend aufnehmen kann, so wird sie in der Nähe der Condensatorplatte noch mehr Elektricität aufnehmen können, bis ihre freie Elektricität E beträgt. Bezeichnet A die ganze Elektricitätsmenge, welche sie jetzt aufzunehmen im Stande ist, so muß also $(1 - m^2)\ A = E$ seyn,

und daraus $\frac{A}{E} = \frac{1}{1-m^2}$. Dieſer Bruch giebt das Verhältniß der Elektricitätsmengen an, welche die iſolirte Platte einmal einzeln ſtehend und dann in der Nähe der Condenſatorplatte aufnehmen kann, ſie drückt daher die condenſirende Kraft des Apparates aus.

Dieſe Formel iſt nun ganz zuläſſig, in ſo weit ſie nur zur Veranſchaulichung der Wirkung des Condenſators dienen; es muß aber als ein Mißbrauch dieſer Formel bezeichnet werden, wenn ſie zur wirklichen Berechnung der condenſirenden Kraft des Apparates angewandt werden ſoll, denn Rieß weiſ't nach, daß die Verſtärkungszahl des Condenſators durchaus keine beſtimmte, etwa nur von der Entfernung der Platten abhängige Größe iſt, ſondern daß ſie abhängt von der Form und der Größe der Condenſatorplatte, von der Lage des Ableitungsdrahtes der Condenſatorplatte, von der Stelle, an welcher der Collectorplatte die Elektricität aus der Elektricitätsquelle zugeführt wird u. ſ. w. Kurz, Rieß hat gezeigt, daß die Condenſationszahl eine Größe iſt, welche bei demſelben Inſtrumente von einem Verſuche zum andern variirt. daß man alſo auch die obige Formel nicht anwenden könne, um die condenſirende Kraft des Apparates zu berechnen.

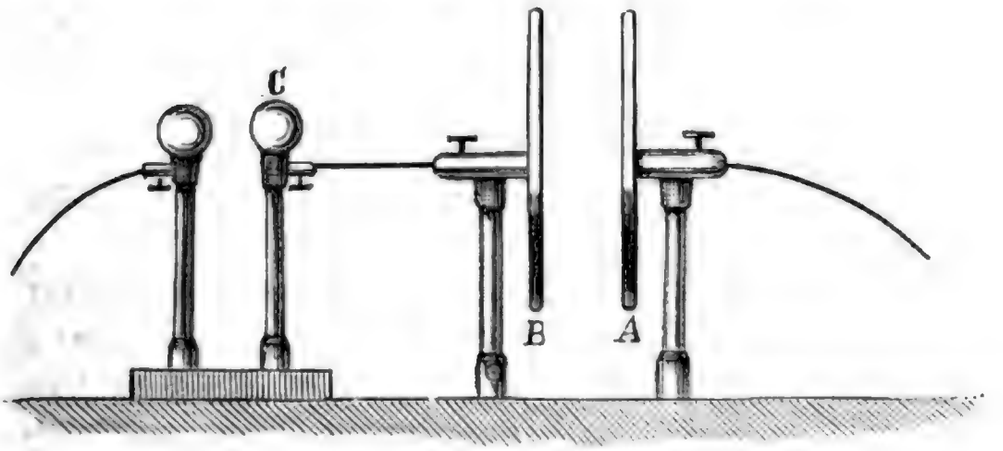
Ueber die Art und Weiſe, wie ſich Rieß über die beſprochene Formel äußert, erlaube ich mir noch einige Bemerkungen zu machen. Er ſpricht ſich nämlich ſehr ſtark gegen jene Formel aus, und zwar ſo, daß man meinen ſollte, die ganze Vorſtellungsweiſe, die Biot von der Wirkung des Condenſators vorträgt, ſey nicht allein mangelhaft, ſondern ſogar grundfalſch. — Rieß bekämpft mit Recht den Mißbrauch, den man von der Formel gemacht hat, um die condenſirende Kraft des Apparates zu berechnen, und weiſ't durch Verſuche unwiderleglich nach, daß eine ſolche Anwendung derſelben nicht zuläſſig ſey; in den einleitenden Betrachtungen drückt er ſich aber in einer Weiſe aus, daß man glauben ſollte, er wollte noch weit mehr gegen die Formel beweiſen, als es in der That ſeine Abſicht iſt, wodurch das Verſtändniß ſeiner Abhandlung ſehr erſchwert wird. Erſt ſpäter merkt man, daß es mit der Polemik gegen die Formel ſo ſchlimm nicht gemeint iſt, als man anfangs glauben ſollte, erſt ſpäter wird es dem Leſer recht klar, daß Rieß nur gegen den Mißbrauch der Formel kämpft, die am Ende doch auf derſelben Vorſtellung über die Wirkung des Condenſators beruht, welche er ſelbſt entwickelt. Zum Theil geht die Polemik gegen die Formel auf einen Wortſtreit hinaus.

Gehen wir nun zu den Verſuchen über, welche Rieß anſtellte, um die Wirkungsweiſe des Condenſators zu erläutern und zu ermitteln, welche Umſtände auf die Condenſationsfähigkeit des Inſtrumentes von Einfluß ſind.

Zwei ebene Meſſingſcheiben, 87,6 Linien im Durchmeſſer, $^{17}/_{24}$''' dick,

mit abgerundeten Rändern, wurden auf einer Seite und zwar gerade in der Mitte mit 15 Linien langen, 11 Linien dicken cylindrischen Ansätzen versehen. Diese Fortsätze sind in der Axe durchbohrt, so daß darin ein Zuleitungsdraht mittelst einer Klemmschraube befestigt werden kann. Winkelrecht auf ihrer Axe haben diese Ansätze eine Höhlung, in welcher ein etwas über 8 Zoll langer, mit Schellack überzogener Glasstab eingekittet ist. Diese die Scheiben tragenden Glasstäbe stehen vertikal auf einem horizontalen Brette, wie dies die schematische Figur 43 zeigt.

Fig. 43.



Die eine Scheibe *A*, die vertheilte oder die Condensatorplatte, läßt sich durch ein Charnier am unteren Ende ihres Glasstabes ganz umlegen. Die vertheilende Scheibe *B*, auch Collectorplatte genannt, steht auf einem Schlitten, so daß sie *A* nach Belieben genähert und die Entfernung mit Genauigkeit gemessen werden kann.

Die Condensatorplatte *A* war während des Gebrauches durch einen Metalldraht zu den Gasröhren des Hauses abgeleitet.

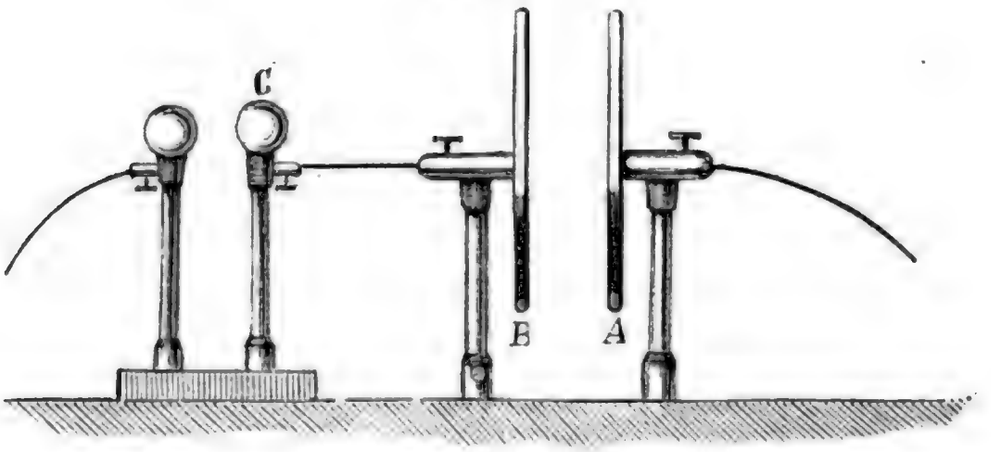
Die Collectorplatte *B* ist durch einen Metalldraht mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, dessen andere Kugel zu den Gasröhren des Hauses abgeleitet ist.

A wurde nun umgelegt, so daß also *B* allein stand, und dann *B* durch Berührung mit dem Knopfe einer Leidener Flasche elektrisirt. Die Elektricität verbreitet sich nun frei über das ganze isolirte System, also über die Platte *B* und die mit ihr verbundene Kugel des Funkenmikrometers. Die Schlagweite der hier befindlichen Elektricität wurde nur durch allmälige Annäherung der andern Kugel des Funkenmikrometers gemessen. Ein Versuch gab beispielsweise die Schlagweite 1,475‴.

Die bewegliche Kugel des Funkenmikrometers wurde nun wieder zurückgeschoben, die Platte *B* auf dieselbe Weise wie vorher geladen, alsdann die Scheibe *A* aufgerichtet und *B* bis auf zwei Linien genähert; nun

wirkt B vertheilend auf A, in A häuft ſich — E an, die bindend*) auf B zurückwirkt und eine andere Anordnung der Elektricität in dem ihr gegenüber ſtehenden Syſteme veranlaßt, die Elektricität ſammelt ſich nämlich mehr in A und ihre Dichtigkeit in der Kugel C wird vermindert, wie

Fig. 44.



ſich dies aus der verringerten Schlagweite ergiebt, denn als jetzt die andere Kugel des Funkenmikrometers bis zum Ueberſchlagen eines Funkens genähert wurde, ergab ſich die Schlagweite 0,150. Durch die Annäherung der Condenſatorplatte iſt alſo die Elektricit in A angehäuft, ihre Dichtigkeit in C dagegen vermindert und zwar im Verhältniß von 1,475 zu 0,150, oder ſie iſt im letzten Falle nur noch 0,102 von der früheren.

Die elektriſche Ladung, welche die Flaſche an die Platte abgeben konnte, war in beiden Fällen nicht ganz gleich, denn abgeſehen von dem Verluſt

*) Rieß vermeidet es in ſeinem ganzen Aufſatze, den Ausdruck »gebundene Elektricität« anzuwenden, wohl aus keinem andern Grunde, als weil man mit dem Ausdrucke eine falſche Vorſtellung verband. Der Ausdruck »gebundene Elektricität« läßt ſich aber ſehr wohl mit einer richtigen Vorſtellung von ihrem Weſen vereinigen, und deshalb bin ich nicht der Meinung, einen Ausdruck zu verbannen, der ſchon ſo ſehr in die Gewohnheit übergegangen. Ueberhaupt ſind doch die falſchen Vorſtellungen über gebundene Elektricität nicht ſo verbreitet, wie Rieß zu glauben ſcheint; ich hatte nie eine andere Anſicht, als die, welche er vertritt, und gegen die Darſtellung dieſer Materie in meinem Lehrbuche der Phyſik dürfte Rieß, wenn er nicht an einzelnen Worten Anſtoß nimmt, ſchwerlich viel auszuſetzen finden, namentlich ſind die Bemerkungen auf der untern Hälfte der Seite 414 des erſten Bandes der erſten Auflage (3te Aufl. 2r Bd. Seite 97 unten) geeignet, jeden Zweifel über den wahren Sachverhalt zu entfernen, und doch war mir zur Zeit, als ich jene Stelle ſchrieb, der Rieß'ſche Aufſatz und der ganze Streit über das Weſen der gebundenen Elektricität noch unbekannt, ſonſt hätte ich jedenfalls des auf Seite 34 dieſes Berichtes beſchriebenen zweckmäßigen Verſuchs gebührende Erwähnung gethan; auch hätte ich es hier und da mit einigen Ausdrücken ſchiefer genommen, als es, da ich jenen Streit noch nicht kannte, bei voller Unbefangenheit geſchehen iſt.

an Ladung, welche die Flasche in der Zeit zwischen der ersten und der zweiten Berührung erlitt, hat sie ja bei der ersten Berührung schon Elektricität an die Platte abgegeben, bei der zweiten Berührung mußte also ihre Ladung, wenn auch nicht bedeutend, geringer seyn. Um diese Ungleichheit der Elektricitätsmenge zu corrigiren, machte Rieß eine ganze Reihe von Versuchen, immer abwechselnd mit und ohne Condensatorplatte, und verglich dann die Schlagweite jedes Versuchs mit der unmittelbar vorhergehenden in folgendem. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Entfernung der Scheiben 2 Linien.

Schlagweite in pariser Linien.

Ohne Condensatorplatte.	Mit Condensatorplatte.	Mittel.	Verhältniß.
1,475			
	0,150	1,406	0,106
1,337		0,142	0,106
	0,135	1,303	0,104
1,270		0,132	0,104
	0,130	1,244	0,105
1,219		0,128	0,105
	0,126		0,105

Wenn man also mit 1 die Dichtigkeit der Elektricität auf *C* bezeichnet, welche sich auf diese Kugel verbreitet, wenn der Platte *B* eine elektrische Ladung ertheilt wird, während *A* entfernt blieb, so wird, wenn die abgeleitet berührte Condensatorplatte bis auf 2 Linien der Platte *B* genähert wird, die Elektricität mehr von *C* nach *B* hingezogen, und dadurch die Dichtigkeit der Elektricität auf *C* bis auf 0,105 vermindert.

Der Einfluß, welchen die Condensatorplatte *A* auf die Vertheilung der Elektricität auf das gegenüberstehende isolirte System *B C* ausübt, hängt natürlich von der Entfernung zwischen *A* und *B* ab; je weiter *A* von *B* entfernt bleibt, desto weniger wird bei seiner Annäherung die Dichtigkeit auf *C* vermindert.

Aus mehreren Versuchsreihen, ganz so angestellt, wie die oben angeführten fand Rieß für verschiedene Entfernungen der Condensatorplatte folgende Schlagweiten an der Kugel *C*, die Schlagweite für ganz entfernte Condensatorplatten gleich 1 gesetzt.

Entfernung der Platten	2‴	5‴	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Schlagweite an der Kugel	0,105	0,272	0,451	0,687	0,794	0,914	1

Angenommen, daß am Knopfe C des normalen Zuleitungsdrahtes eine Ausſtrömung der Elektricität am früheſten ſtattfindet, ſo wird auf der Platte ſo lange eine Anſammlung der Elektricität ſtattfinden können, als die Schlagweite am Knopfe eine beſtimmte Größe nicht überſtiegen hat. Setzen wir dieſe Grenzdichtigkeit auf C gleich 1. Nehmen wir an, das iſolirte Syſtem ſey bei freiſtehender Platte B bis zu dieſer Grenze geladen. — Nun wird die Condenſatorplatte genähert, dadurch die Elektricität mehr nach der Platte B hingezogen, ihre Dichtigkeit auf C alſo (wir wollen annehmen auf $\frac{1}{n}$) vermindert, ſo iſt klar, daß man dem ganzen iſolirten Syſteme $n$mal ſo viel Elektricität als früher zuführen kann, bis auf C wieder die Dichtigkeit 1 erreicht iſt, der Apparat kann alſo jetzt, bei genäherter Condenſatorplatte, $n$mal ſo viel Elektricität aufnehmen als vorhin.

Bei den obigen Verſuchen wurde die Dichtigkeit der Elektricität auf C durch Annäherung der Condenſatorplatte bis 2‴ auf 0,105 oder $\frac{1}{9,5}$ vermindert, dadurch wird alſo auf die Platte B eine 9,5mal ſo ſtarke Anſammlung der Elektricität möglich als ohne Condenſatorplatte.

Für die verſchiedenen Entfernungen der Condenſatorplatte wird alſo bei obigen Verſuchen eine Vermehrung der Dichtigkeit auf der Collectorplatte in folgendem Verhältniß möglich.

Entfernung der Platten	2‴	5‴	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Mögliche Vermehrung der elektr. Dichtigkeit auf der Collectorplatte	9,5	3,67	2,21	1,45	1,25	1,09	1

Dies iſt die richtige Darſtellung der Wirkungsweiſe condenſirender Apparate. Allerdings hatte man auch ſchon früher eine richtige Anſicht über den Hergang, ſie war aber nicht ſo ſcharf und klar ausgeſprochen.

Bei dieſen Verſuchen war C mit B durch einen 8″ 5‴ Zoll langen Draht verbunden. Als ſtatt deſſen ein 18″ 3‴ langer Draht angewandt wurde, ergaben ſich faſt genau dieſelben Verhältnißzahlen der Schlagweite für freiſtehende Collectorplatte und genäherte Condenſatorplatte.

Wenn man also das leitende System der Collectorplatte mit einer constanten Elektricitätsquelle in Berührung bringt, so wird man auf der Collectorplatte *B*, 2,21 — 1,45 — 1,25 u. s. w. mal mehr Elektricität anhäufen können, wenn die ableitend berührte Condensatorplatte *A* 10‴ 20‴, 30‴ weit von *B* absteht, als wenn sie gar nicht da ist.

Rieß suchte die Vermehrung der Elektricitätsmenge auf die Collectorplatte durch die Annäherung der Condensatorplatte unter den obigen Umständen, d. h. wenn die Collectorplatte während der Annäherung der Condensatorplatte mit einer constanten Elektricitätsquelle in Verbindung blieb, durch directe Versuche zu bestimmen, die er in folgender Weise anstellte.

Zuerst wurde mit dem Knopf einer Leidner Flasche die Kugel *C* berührt, während die Condensatorplatte ganz entfernt blieb, die Flasche entfernt und die Schlagweite bei *C* gemessen.

Dann wurde die ableitend berührte Condensatorplatte in einer bestimmten Entfernung aufgestellt, *C* abermals mit dem Knopf der Leidner Flasche berührt, Flasche und Condensatorplatte entfernt, und abermals die Schlagweite bei *C* gemessen.

So viel mal im letzten Falle die Schlagweite größer gefunden wird als im ersten, um so viel mal mehr Elektricität hat im letzteren Falle die Platte *B* aufgenommen als im ersten.

Eine Reihe von Versuchen ergab im Mittel folgende Elektricitätsmengen für die verschiedenen Entfernungen der Platten.

Entfernung der Platten . . .	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Aufgenommene Elektricitätsmenge	2,33	1,52	1,31	1,11	1

Der Unterschied dieser direct gefundenen Zahlen mit den aus den ersteren Versuchen berechneten Verdichtungszahlen, ist in der That sehr gering.

Für kleinere Entfernungen als 10″ konnten nicht wohl Versuche mit Sicherheit angestellt werden.

Das Verhältniß der Elektricitätsmenge der Collectorplatte, je nachdem sie bei der Berührung allein gestanden, oder in der Nähe der Condensatorplatte, heißt Verstärkungszahl des Condensators. Nach obigen Versuchen ist also 2,21 — 1,45 u. s. w. die Verstärkungszahl des Condensators, wenn die Platten 10‴, 20‴, u. s. w. abstanden.

Wir werden alsbald sehen, daß die Verstärkungszahl des Condensators durchaus nicht allein von der Entfernung der Platten abhängt.

Die Bestimmung der Dichtigkeit der Elektricität auf *c* mittelst des Funkenmikrometers macht den Hergang allerdings recht anschaulich, eignet sich aber nicht zu genauen Bestimmungen, weil die abgeleitete Kugel des

Funkenmikrometers Einfluß auf die Vertheilung der Elektricität auf der gegenüberſtehenden hat. — Statt des Funkenmikrometers läßt ſich aber auch jede andere Methode der Meſſung der elektriſchen Dichtigkeit auf C anwenden.

Zu einer genaueren Verſuchsreihe wandte Rieß die Torſionswage an. Er fand auf dieſe Weiſe, daß wenn dem iſolirten Syſteme CB eine elektriſche Ladung mitgetheilt worden iſt (die abgeleitete Kugel des Funkenmikrometers war entfernt), während die Condenſatorplatte entfernt war und man mit 1 die elektriſche Dichtigkeit bezeichnet, welche ſich auf C befindet, ſo wird bei Annäherung der Condenſatorplatte auf verſchiedene Entfernungen die Dichtigkeit auf c in folgendem Verhältniß verringert.

Entfernung der Platten	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeit auf C	0,173	2,35	2,86	3,35	0,492	0,595	0,683	0,897	1

Dieſe Reſultate ſtimmen recht gut mit den frühern, mittelſt des Funkenmikrometers erhaltenen, überein.

Als der Verbindungsdraht zwiſchen B und C verkürzt worden war, wurden folgende ſchon ziemlich abweichende Zahlen gefunden.

Entf. d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeiten	0,1 5	0,219	0,274	0,306	0,488	0,630	0,688	0,888	1

Auf der Rückſeite der Collectorplatte wird durch Annäherung der Condenſatorplatte die elektriſche Dichtigkeit vermindert. Rieß fand, daß auf der Rückſeite der Collectorplatte, nahe am Rande derſelben, die Dichtigkeit der Elektricität bei Annäherung der Condenſatorplatte in folgendem Verhältniß vermindert wurde.

Entf. d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeiten	0,260	0,341	0,412	0,460	0,617	0,713	0,628	0,941	1

Man ſieht alſo, daß auf der Rückſeite der Collectorplatte nahe am Rande die Dichtigkeit der Elektricität durch Annäherung der Condenſatorplatte

weit weniger verringert wird, als am Ende *C* des in der Mitte normal aufgesetzten Zuleitungsdrahtes; die Verstärkungszahl des Condensators wird also eine geringere seyn, wenn der zu untersuchende Körper an den Rand, als wenn er in der Mitte der Collectorplatte angelegt wird*).

Größere Condensatorplatten lassen eine größere Condensation der Elektricität zu als kleinere, wie dies schon Munk of Rosenschöld gezeigt hat.

Mit Platten von 52‴ Durchmesser wurden Versuche möglichst unter denselben Umständen angestellt, wie sie bei obigen Versuchsreihen waren, namentlich war die normale Ableitung der Collectorplatte in beiden Fällen dieselbe. Es wurde nur die Verminderung der elektrischen Dichtigkeit beobachtet, welche bei Annäherung der Condensatorplatte am Ende des normalen Zuleitungdrahtes (also an der Kugel *C*?) stattfindet. In folgender Tabelle sind die mit der kleinen Platte erhaltenen Resultate mit der entsprechenden, an der größern erhaltenen, zusammengestellt.

Entfernung der Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	∞
Dichtigkeit an der Ableitung des kleinen Condensators	0,232	0,330	0,393	0,443	0,688	0,768	1
Dichtigkeit an der Ableitung des großen Condensators	0,155	0,219	0,274	0,306	0,488	0,630	1

Man sieht also, daß die Dichtigkeit der Elektricität an der normalen Ableitung der kleinen Platte durch Annäherung der Condensatorplatte nicht so stark vermindert wird, als bei Anwendung größerer Platten, daß also auch bei Condensatoren mit größeren Platten eine stärkere Verdichtung der Elektricität auf der Vorderseite der Collectorplatte selbst möglich ist, als bei kleineren.

Die Dichtigkeit der Elektricität auf die Collectorplatte hängt auch ab von der Art und Weise, wie die Condensatorplatte abgeleitet ist.

*) Dieser Schluß scheint mir nicht ganz richtig. Die Versuche beweisen, daß, wenn man die constante Elektricitätsquelle bei *C* anhält, alsdann die Verstärkungszahl größer ausfällt, als wenn man mit der constanten Elektricitätsquelle die Rückseite der Collectorplatte nahe am Rande berührt. Daß es aber einerlei ist, ob man mit der constanten Elektricitätsquelle die Kugel *C* oder direct die Mitte der Collectorplatte berührt, ist noch nicht bewiesen, und dies hätte bewiesen seyn müssen, wenn obige Aussage wahr seyn soll.

Bei den letzten mit den kleinen Platten angestellten Versuchen war die Ableitung der Condensatorplatte normal auf ihre Ebene; nun wurde aber der Ableitungsdraht an die Seite des Plattenfortsatzes angebracht, so daß derselbe ungefähr 5‴ von der Platte entfernt, mit der Ebene derselben parallel lief. (Aus dieser Beschreibung ist mir die Anwendung nicht recht klar geworden. M.)

Es wurde nun die Dichtigkeit der Elektricität am normalen Fortsatze der Collectorplatte für verschiedene Entfernungen des Condensators beobachtet, und die Resultate mit denen zusammengestellt, die bei normaler Ableitung der Condensatorplatte erhalten worden war.

Entfernung der Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	∞
Dichtigkeiten (parallele Ableitung)	0,190	0,269	0,340	0,408	0,597	1
Dichtigkeiten (normale Ableitung)	0,232	0,393	0,393	0,443	0,688	1

Bei parallel mit der Condensatorplatte laufenden Ableitungsdrahte findet sich für jede Entfernung der Platten eine geringere Dichtigkeit an der normalen Ableitung der Collectorplatte, als wenn die Ableitung der Condensatorplatte normal ist; bei paralleler Ableitung der Condensatorplatte ist also der Condensator einer stärkern Ansammlung der Elektricität fähig, als bei normaler Ableitung derselben.

Rieß suchte nun auch die Menge der auf der Condensatorplatte gebundenen Elektricität zu bestimmen. Ich begnüge mich hier, nur die Resultate seiner Versuche mit dem großen Condensator anzuführen. Bezeichnet man mit 1 die Elektricitätsmenge auf der Collectorplatte, so fanden bei verschiedener Entfernung der Platten folgende Elektricitätsmengen auf dem Condensator Statt.

Entfernung d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴
Menge d. gebundenen Elektricität a. d. Condensatorplatte	0,911	0,887	0,854	0,823	0,689	0,612	0,500	0,263

27 **Elektrische Wirkungen der Flammen.** Die elektrischen Eigenschaften der Flamme sind von Rieß in einem Aufsatze besprochen worden,

welcher sich in Poggendorff's Annalen Band LXI Seite 545 findet. Im Eingange giebt er historische Notizen über früher schon gemachte Erfahrungen und Ansichten, die über diesen Gegenstand sprechen. Wir wollen hier nur bemerken, daß schon Gilbert und Kircher die elektrischen Wirkungen der Flamme kannten; Priestley bewies durch Versuche, daß die Flamme die Elektricität leite, und Volta vergleicht die elektrische Wirkung der Flammen mit der Wirkung metallischer Spitzen.

In der That läßt sich die elektrische Wirkung der Flammen kurz so charakterisiren: Wenn ein elektrisirter Leiter mit einer Flamme versehen wird, so verliert er alsbald seine Elektricität, die Elektricität strömt durch die Flamme aus, wie durch eine auf dem elektrisirten Leiter angebrachte Spitze; bringt man dagegen eine Flamme in die Nähe eines elektrischen Körpers, so saugt die Flamme die Elektricität gleichsam ein, wie dieß auch eine metallische Spitze, wenn gleich in weit geringerem Maaße, thut. Setzt man eine Flamme auf den Knopf einer Leidner Flasche, welche in der Nähe einer gedrehten Elektrisirmaschine steht, so ladet sich die Flasche, als ob man den Knopf mit dem Conductor der Maschine verbunden hätte. — Volta brachte brennenden Schwamm an seinen Elektroscopen an, um gleichsam die Luftelektricität einzusaugen.

Obgleich Volta richtig erkannte, daß die Flamme leitend sey, und daß sie in ähnlicher Weise wirkt wie metallische Spitzen, obgleich er also die Elemente einer richtigen Erklärung auch richtig erkannt hätte, so waren doch seine Ansichten über die Wirkung der Spitzen selbst zum Theil irrig, indem er glaubte, daß bei Spitzen das Ausströmen sowohl als auch das Einsaugen der Elektricität eine Folge des elektrischen Windes sey. Bei der Flamme soll der aufsteigende Luftstrom die Wirkung des elektrischen Windes ersetzen.

Bei stärkerer Ladung der Spitzen tritt freilich der elektrische Wind auf und begünstigt auch das Ausströmen und Einsaugen der Elektricität, allein die Wirkung der Spitzen wird keineswegs durch diesen Wind bedingt, sie findet schon Statt bei elektrischen Ladungen, die zu schwach sind, um den elektrischen Wind hervorzubringen.

Nach Volta's Erklärung findet bei der elektrischen Wirkung der Flamme eine wirkliche Mittheilung von Elektricität Statt. Daß die ladende und entladende Wirkung der Spitzen nicht immer auf einem unmittelbaren Uebergang der Elektricität beruht, ist bekannt; Rieß sucht dieß nun auch durch Versuche für Flammen darzuthun, er erklärt die Wirkung der Flamme auf folgende Weise.

Von der Flamme strömt fortwährend ein dichter Dampfstrom auf, der sich als zusammenhängende Schicht in die Luft erhebt. Aber er behält diese Form nur bis zu einer geringen Höhe. Indem die Luft von allen Seiten

in den Dampf eindringt, und dieser durch die Glühhitze zersetzt, sich mit Theilen der Luft verbindet, wird die continuirliche Masse vielfach eingeschnitten und zerrissen, und es bleiben von ihm nur Fäden übrig, die sich mehr und mehr verdünnen und in der Luft zerstreuen. Von der die Elektricität leitenden Flamme gehen demnach leitende Fäden aus, die von einander durch die gebildeten nicht leitenden Gasarten, und durch heiße Luft getrennt sind, und nothwendig in Spitzen und Zacken verlaufen. Dies vorausgesetzt hat man die Flamme als einen guten Elektricitätsleiter zu betrachten, der mit einer Menge, nach allen Seiten in die Luft hinausragenden Spitzen versehen ist, und zwar mit solchen, die an Vollkommenheit alle in der Natur vorkommenden Spitzen übertreffen. Ueberträgt man auf diesen Leiter die Erfahrungen, die an unvollkommenen Spitzen gemacht worden sind, so ergeben sich, nach den sonst bekannten Eigenschaften der Elektricität, die elektrischen Wirkungen der Flamme mit Leichtigkeit.

Von einem mit Spitzen versehenen Leiter strömt eine desto größere Menge die ihm mitgetheilte Elektricität aus, je vollkommener seine Spitzen sind; von der Flamme entfernt sich auch die geringste Menge Elektricität. An einer Spitze ist die elektrische Dichtigkeit um vieles größer als an jeder anderen Stelle des Leiters, an den Dampfspitzen der Flamme ist demnach die Dichtigkeit der Elektricität sehr groß; die in den Dampfspitzen angehäufte Elektricität wirkt nun vertheilend auf genäherte isolirte Leiter. Ist an den Stellen des isolirten Leiters, welche den elektrischen Dampfspitzen zunächst liegen, die Anhäufung der angezogenen Elektricität groß genug, so wird sie ausströmen und der Leiter bleibt nur mit der Elektricität geladen zurück, welche von der Elektricität der Flamme abgestoßen wird, also mit ihr gleichnamig ist; der isolirte Leiter bleibt also mit derselben Elektricität geladen, welche die Flamme hat, ohne daß diese Elektricität von der Flamme zu ihm übergegangen wäre.

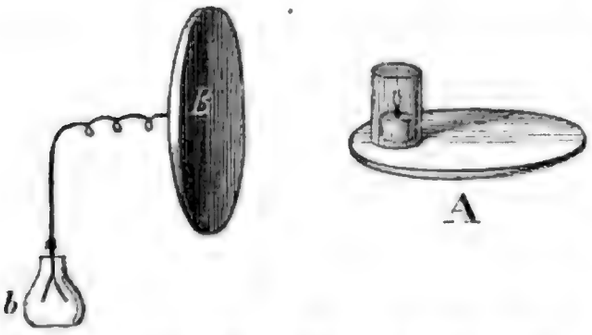
Nähert man umgekehrt der Flamme einen elektrischen Körper, so werden die Dampfspitzen durch Vertheilung elektrisch, aber ihre Elektricität strömt aus und der isolirte Leiter, auf welchem sich die Lampe befindet, bleibt mit derselben Elektricität geladen, welche der genäherte, vertheilende elektrische Körper besitzt, ohne daß diese Elektricität von diesem elektrischen Körper auf den mit der Lampe versehenen Leiter übergegangen wäre.

Diese Ansicht von dem Hergange der Sache ist durch folgenden Versuch gerechtfertigt.

Auf einer gehörig isolirten Kupferscheibe *A* (3″ 11‴ Durchmesser) stand eine kleine metallene Weingeistlampe, die mit einem 13 Linien hohen Metallcylinder umgeben war. Ungefähr $3\frac{3}{4}$ Zoll von der Lampe entfernt befand sich eine zweite Kupferscheibe *B* (Fig. 45), die mit dem

Elektroscop *b* verbunden, und durch einen isolirenden Schellackstiel in einer vertikalen Ebene gehalten wurde. Die Dochtspitze und die Mitte der Scheibe *B* befanden sich in gleicher Höhe.

Fig. 45.



Wurde nun die Lampe angezündet und *A* durch Berührung mit dem einen Pol einer trocknen Säule elektrisirt, so zeigte alsbald das Elektroscop *b* eine Divergenz von 3‴. Da der Dampf von der Flamme gerade aufsteigt, so ist hier eine directe Ueberführung der Elektricität schon unwahrscheinlich; fände sie Statt, so müßte auch *A* und *B* nothwendig durch Dämpfe in leitender Verbindung stehen, das Elektroscop *b* müßte also zusammenfallen, sobald man *A* ableitend berührt. Bei ableitender Berührung von *A* fiel aber das Elektroscop *b* nur auf $2\frac{1}{2}$‴ zusammen, es findet also zwischen *B* und der Lampe keine leitende Verbindung Statt, und die Ladung von *B* geschieht also in der oben angedeuteten Weise.

Wurde *B* elektrisirt, und während die Lampe brannte, *A* ableitend berührt, so sank das Elektroscop langsam zusammen, blieb aber bei 3‴ Divergenz stehen und zeigte selbst nach 2 Minuten noch $2\frac{1}{3}$‴ Divergenz.

Wurde *B* horizontal über *A* gehalten, so schlugen die Dämpfe der Lampe an *B* an, folglich bestand auch eine leitende Verbindung zwischen *A* und *B*, in diesem Falle fiel auch, wenn man im übrigen die eben besprochenen Versuche wiederholte, das Elektroscop *b* alsbald zusammen, wenn *A* ableitend berührt wurde.

Aus dem Erfolge dieser Versuche ergiebt sich auch, daß die hier wirksamen Dampfspitzen weit über die Flamme und den die Lampe umgebenden Metallcylinder hinausragen, sonst würde ja dieser überragende Metallcylinder die Spitzenwirkung vernichtet haben, wie es in der That bei glimmenden Körpern der Fall ist.

Legt man brennenden Schwamm auf *A*, hält man *B* gehörig isolirt horizontal über *A*, so wird, wenn *A* durch Berührung mit dem einen Pol einer trocknen Säule elektrisirt wird, das Elektroscop *b* alsbald divergiren, dieser Erfolg bleibt aber aus, sobald man den brennenden Schwamm mit einem metallischen Cylinder (13‴ hoch, 9‴ im Durchmesser) umgiebt.

Dies beweist, daß der hier aufsteigende Rauch nicht leitend ist. Die Wirkung des glimmenden Körpers wird also nicht wie die Flamme durch den Dampf bestimmt. An der Stelle, wo die Masse verbrennt, entsteht eine Grube, deren Rand durch die gebildete Kohlensäure u. s. w. vor der Verbrennung geschützt bleibt; wo mehrere solcher Gruben zusammentref-

fen, bleibt ein Höcker unverbrannter Masse stehen; diese Höcker werden bei fortschreitender Verbrennung zugespitzt, und auf diese überall aus dem brennenden Körper hervorragenden Spitzen sind alle Folgerungen anwendbar, welche oben für die Dampfspitzen entwickelt wurden.

Wie der glimmende Feuerschwamm, so verhalten sich auch Lunte, Räucherkerzen u. s. w.

Rieß hat diese Versuche noch vielfach modificirt, und immer Resultate erhalten, welche seine theoretische Ansicht bestätigten. Bei allen diesen Versuchen ist die Verbrennung der entzündeten Körper möglichst vollständig erhalten worden. Schwamm und Kohlenkerze (in der Art verfertigt, wie Rauchkerzen) wurden durch häufiges Blasen angefacht, von Asche gesäubert und die Weingeistlampe nur bei intensiver Verbrennung gebraucht. Mit dieser Vorsicht ist jede Störung der angegebenen Wirkungen vermieden worden. — Wenn dagegen die Verbrennung der untersuchten Körper nicht vollständig ist, so sieht man einen bestimmten Versuch mit der einen Elektricitätsart oft viel leichter und schlagender gelingen, als mit der andern, was bei vollkommener Verbrennung nicht der Fall ist.

Die Scheibe *A* wurde vertikal und der Scheibe *B* parallel gestellt, und dann auf *A* eine Kohlenkerze (kleine Kegel geformt aus Kohlenpulver und etwas Salpeter, welche Stoffe mit Traganthschleim angerührt wurden) befestigt, welche gegen *B* hin gerichtet war.

Als die Kohlenkerze über die Hälfte in Gluth und mit Asche bedeckt war, wurde *A* mit dem einen Pol einer trocknen Säule berührt. War dies der positive Pol, so divergirte das Elektroscop *b* nur langsam und höchstens bis zu 2 Linien; berührt man aber *A* mit dem negativen Pol der trocknen Säule, so divergirte der Elektroscop schnell und mit mehr als 5 Linien.

Im Gegensatz divergirte ein Elektroscop, welches man mit der Kohlenkerze und der Scheibe *A* leitend verband, schneller und stärker, wenn die gegenüberstehende Scheibe *B* positiv, als wenn sie negativ elektrisch gemacht war, es hatte also den Anschein, als ob die negative Elektricität leichter aus der Kerze ausströme, der positive hingegen leichter von ihr aufgesaugt würde.

Rieß erklärt diese sonderbare Erscheinung durch die bekannte Erfahrung, daß bei der Verbrennung der Kohle eine Elektricitätsentwickelung stattfindet, und zwar, wie schon Volta beobachtete, am stärksten bei mäßiger Gluth, bei schwachem Luftzuge und absichtlich verzögerter Verbrennung der Kohle.

Die aufsteigende Kohlensäure ist hierbei positiv, die Kohle negativ elektrisch, die an und für sich schon negativ elektrischen Spitzen müssen also kräftiger wirken, wenn ihnen noch — *E* zugeführt wird, als wenn man

ihnen $+E$ zuführt, wodurch sich die oben besprochenen Unterschiede der Erscheinung bei positiver und negativer Ladung vollständig erklären.

Die Kohle wirkt durch ihre negativ elektrischen Kohlenspitzen und nicht durch den positiv elektrischen Dampf, sonst müßte man die stärkere Wirkung bei derjenigen elektrischen Ladung erhalten, welche bei obigen Versuchen die schwächere Wirkung gab. Dieser Fall wird jedoch auch beobachtet und zwar an der Davy'schen Glühlampe.

Auf der Scheibe *A*, Fig. 45, wurde eine messingene Glühlampe mit schwach glühender Spirale gestellt; die Lampe, welche 10‴ hoch war, wurde mit einem 13‴ hohen Cylindermantel aus Kupferblech umgeben; wurde *A* positiv geladen, so divergirte das Elektroscop *b* stärker, als bei negativer Ladung von *A*. Wurde dagegen *A* mit einem Elektroscop versehen und *B* durch Berührung mit dem einen Pol der trocknen Säule geladen, so divergirte das Elektroscop stärker bei negativer Ladung von *B*.

An den eben besprochenen Aufsatze von Rieß hat sich eine Polemik über die elektrische Wirkung der Flammen zwischen Rieß und van Rees angeknüpft (P. A. LXXIII, Seite 41 und 307). van Rees bekämpft zunächst die Existenz der Dampfspitzen. Dabei stützt er sich darauf, daß diese Dampfspitzen nicht sichtbar seyen, wenn man den Schatten der Flamme betrachtet, welchen man erhält, wenn man in eine dunkle Kammer das Licht durch den Beleuchtungsapparat eines Sonnenmikroscops einfallen läßt und die Flamme in den stärk divergirenden Lichtkegel bringt.

Dagegen sagt Rieß, wer sich die Dampfspitzen so denkt, daß sie einen Schatten werfen können, der darf sie von vorn herein verwerfen, ohne den erwähnten Versuch anzustellen. Es ist aber eine Thatsache, daß über der elektrisch wirkenden Flamme eine Dampfsäule steht, welche die Elektricität gut leitet, und sich dann in die schlecht leitende Luft verliert; die kalte Luft wird also wohl in die leitende Masse einschneiden und sie auszacken.

In der That hat diese Ansicht die größte Wahrscheinlichkeit für sich, und da van Rees selbst sagt: »eine Flamme ist im Ganzen genommen (also wohl auch die zunächst über ihn befindliche Dampfmasse) als Leiter zu betrachten«, so ist eigentlich kein großer Unterschied mehr zwischen den Ansichten der beiden Physiker und der Streit über diesen Punkt doch fast nur noch ein Wortstreit.

Zur Erklärung der Flammenwirkung geht van Rees ebenfalls von der Spitzenwirkung aus; er sagt, wenn eine Spitze auf den Conductor einer Elektrisirmaschine aufgesetzt wird, so entsteht ein ununterbrochener Strom elektrisirter Luft, die zunächst vertheilend auf die nächsten Leiter wirkt.

Zwei Meter von dem mit einer Spitze versehenen Conductor der Elektrisirmaschine wurde ein Elektroscop aufgestellt; sobald gedreht wurde, divergirten die Blättchen, und diese Divergenz blieb, als der Conductor ent-

laden wurde; trotz dieſer bleibenden Divergenz hatte aber das Elektroſcop doch keine bleibende Ladung, ſondern die Blättchen divergirten noch in Folge der vertheilenden Wirkung der von der Spitze elektriſirten Luft, welcher durch Entladung des Conductors die Elektricität nicht genommen werden kann. Daß das Elektroſcop wirklich keine bleibende Ladung hatte, zeigte van Rees dadurch, daß die Pendel ſogleich zuſammenfielen, als er das Elektroſcop in ein Nebenzimmer brachte, ſogleich aber wieder divergirten, als er das Inſtrument an ſeine alte Stelle ſetzte. — Bei fortgeſetzter Drehung aber verbreiten ſich die an der Spitze elektriſirten Luftheilchen weiter, ſie wandern theilweiſe zum Elektroſcop, dem ſie auf dieſe Weiſe eine bleibende Ladung mittheilen.

Gegen dieſes alles iſt wohl nichts einzuwenden.

Van Rees überträgt nun dieſe Anſicht von der Wirkungsweiſe der Spitzen auf die Wirkung der Flammen; durch die Flamme wird die von ihr aufſteigende Luft geladen und kann dann vertheilend auf benachbarte Leiter wirken. Wenn das Elektroſcop *b* bei dem erſten Rieß'ſchen Verſuche, welcher auf Seite 82 beſprochen wurde, bleibend elektriſirt ſchien, ſo war dies nach Rees alſo nur eine Folge der vertheilenden Wirkung der elektriſchen Luft über der Flamme, welche durch Entladung der Platte *A* nicht entladen werden kann, weil ſie ein Iſolator iſt. — Die vertheilende Wirkung, welche von der Flamme ausgeht, meint Rees, ſey viel zu ſchwach, um in der Platte eines genäherten Elektroſcops (alſo beim Rieß'ſchen Verſuche wohl in der Platte *B*) eine ſo ſtarke Anhäufung der angezogenen Elektricität zu bewirken, daß ein Ausſtrömen ſtattfinden könnte, in Folge deſſen das Elektroſcop geladen zurückbliebe. Darüber läßt ſich aber offenbar nicht allgemein aburtheilen, es hängt dies viel zu ſehr von ſpeciellen Verhältniſſen, von den Dimenſionen der Platte, den Dimenſionen des vertheilenden Körpers, der gegenſeitigen Entfernung u. ſ. w. ab.

Der Unterſchied zwiſchen der Anſicht der beiden Phyſiker iſt demnach im Weſentlichen folgender. — Nach Rieß wirkt die aufſteigende, in einzelne Fäden auslaufende leitende Dampfmaſſe vertheilend auf die benachbarten Leiter; nach van Rees dagegen geht die vertheilende Wirkung von der über der Flamme befindlichen nicht leitenden Luftmaſſe her, welche durch die leitende Flamme der Elektricität mitgetheilt wird.

Die Wahrheit mögte wohl zwiſchen beiden Anſichten in der Mitte ſtehen. Es iſt unzweifelhaft, daß über der Flamme eine leitende Dampfſäule ſich bildet und höchſt wahrſcheinlich, daß dieſe in feine leitende Fäden ausgeht. Iſt dieſe Dampfmaſſe mit ihren Spitzen elektriſch, ſo muß ſie auch vertheilend auf genäherte Leiter wirken, wie dies die Anſicht von Rieß iſt. — Wie weit aber die Dampfſäule leitend bleibt, iſt ungewiß; die meiſten durch die Verbrennung gebildeten Gaſe und Dämpfe verlieren

aber bei der Abkühlung ihr Leitungsvermögen; sie werden aber die von der Flamme mitgebrachte Elektricität behalten, und so bildet sich über der elektrisirten Flamme und ihrem leitenden Theile auch eine elektrische nicht leitende Gasmasse, welche ihrerseits ebenfalls vertheilend auf genäherte Leiter wirkt, wie dies die Ansicht von Rees ist.

Es versteht sich von selbst, daß bei starker Elektrisirung die Ueberführung elektrisirter Luft und Staubtheilchen sich der oben besprochenen Vertheilungswirkung hinzugesellt, und leicht den wesentlichsten Theil der Ladung und Entladung bewirken kann.

Petrina hat die elektrische Wirkung der Flamme auf eine ganz eigenthümliche Weise zu erklären gesucht (P. A. LVI. 459); er meint, daß der zur Flamme hinzuströmende Sauerstoff nur bei einem bestimmten elektrischen Zustande eine chemische Verbindung eingehe und diesen Zustand bis auf eine beträchtliche Entfernung von der Verbindungsstelle annehme und behaupte.

Eine Begründung dieser Ansicht hat Petrina jedoch noch nicht gegeben.

Dritter Abſchnitt.

Die Leidner Flaſche und die Wirkungen des Entladungsſchlages

---

28 **Abria über einige die elektriſche Entladung begleitende mechaniſche Phänomene.** Wenn man den Entladungsſchlag einer Leidner Flaſche zwiſchen Spitzen übergehn läßt, und unter den Weg des Funkens eine mit einem feinen Pulver beſtreute Glasplatte legt, ſo beobachtet man nach einigen Entladungen, daß das Pulver ſich mit einer gewiſſen Regelmäßigkeit zu Kurven ordnet.

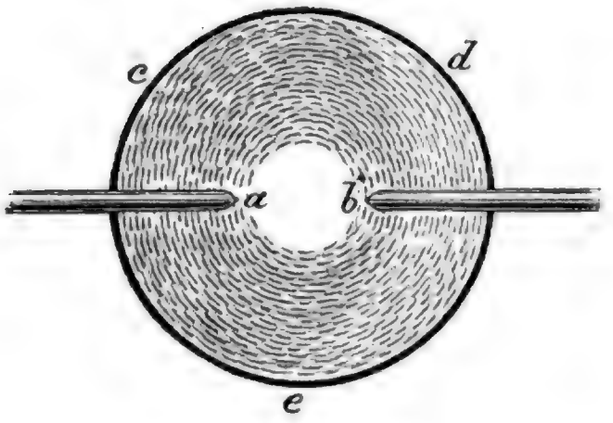
Abria hat dieſe Erſcheinung zuerſt beobachtet und beſchrieben (Ann. de chim. et de phys. LXXIV. 186. P. A. LIII. 589). Durch die Leſung ſeiner Abhandlung erhält man aber durchaus keine klare Vorſtellung davon, welcher Art jene Kurven ſind und dies rührt wohl vorzugsweiſe daher, daß die Figur, welche dazu dienen ſoll, die Sache zu erläutern, ſich mit dem Text gar nicht in Zuſammenhang bringen läßt. Selbſt jetzt, nachdem ich das Phänomen durch den Verſuch kennen gelernt habe, bleibt mir die Figur, welche der Abhandlung beigegeben iſt, noch unverſtändlich.

Um das Phänomen kennen zu lernen, ſtellte ich den Verſuch ſelbſt an. — Die innere Belegung einer Maaßflaſche wurde mit dem Conductor der Maſchine verbunden. Auf den Weg, den die Elektricität von der inneren Belegung zur äußeren zu durchlaufen hat, wurde der allgemeine Henley'ſche Auslader eingeſchaltet. Auf das Tiſchchen deſſelben wurde eine Glasplatte gelegt, und dieſe mit Mennigpulver oder mit Schwefelblüthe, welche gerade zur Hand waren, dünn beſtäubt. Das Reſultat war für beide Pulverarten daſſelbe. Das Pulver ordnete ſich ungefähr ſo wie es Fig. 46 angedeutet iſt.

In Fig. 46 ſind *a* und *b* die beiden Spitzen, zwiſchen welchen die Funken überſchlagen; unter dieſen ſieht man von Oben geſehen die Platte

c d e, auf welchen das gleichmäßig aufgestreute Pulver in Folge der wiederholten Entladungsschläge sich ungefähr so ordnet, wie es durch Striche angedeutet ist. —

Fig. 46.



Natürlich treten in diese Kurven Modificationen ein, wenn man die Entfernung der Platten von der Linie, welche die Spitzen *a* und *b* verbindet, verändert. Die Kurven sind nicht continuirlich, sondern es sind lauter kurze, abgebrochene Strichelchen, wie man in der Figur sieht, es ist mir deßhalb nicht wohl begreiflich, wie Abria die Natur dieser Kurven so weit untersuchen konnte, um zu entscheiden, daß sie nicht, wie es auf den ersten Anblick scheint, zu Ellipsen gehören, sondern daß sie verwickelter sind.

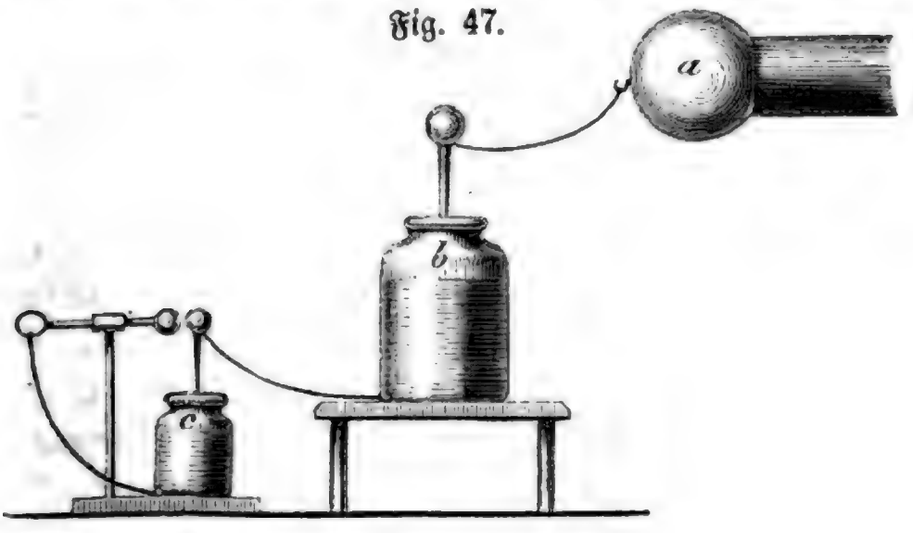
Abria schreibt nun diese Wirkung der mechanischen Erschütterung zu, welche das Ueberschlagen des Funkens in die Luft bewirkt, und unterstützt diese Ansicht dadurch, daß er ähnliche Erscheinungen durch kleine Explosionen hervorbringt.

Läßt man auf einer bepulverten Marmorplatte kleine Seifenblasen, die mit Knallgas gefüllt, explodiren, oder bringt man die Erschütterung durch Aufwerfen von Knallerbsen auf der bestäubten Platte hervor, so erhält man ähnliche Kurven, die jedoch bei Anwendung der Knallerbsen nicht so regelmäßig werden, wie bei den Explosionen kleiner Knallgasblasen.

Maaß für die Ladung der Batterie. Um die Quantität der auf 29
einer Flasche oder einer Batterie angehäuften Elektricität zu messen, wandte Rieß folgendes Verfahren an. (P. A. 40. 321.)

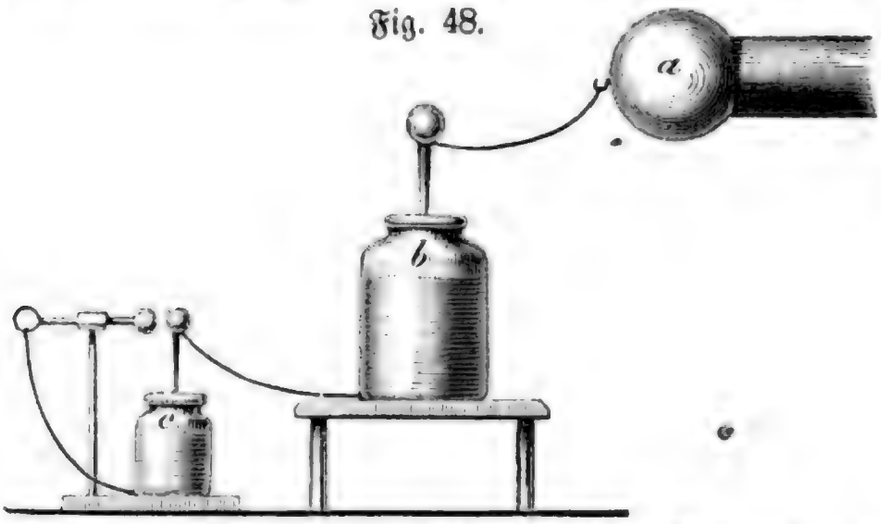
Die zu ladende Flasche oder Batterie *b* Fig. 47, wurde auf einen durch

Fig. 47.



Glasfüße iſolirten Tiſch geſetzt, und ihre innere Belegung mit dem Conductor *a* der Elektriſirmaſchine, die äußeren aber mit der inneren Belegung der Lane'ſchen Maaßflaſche *c* verbunden. Die äußere Belegung

Fig. 48.



der Maaßflaſche wurde durch einen hinlänglich dicken Draht mit einer großen Metallfläche (ein Zinkdach) in Verbindung geſetzt, ſo daß man einer vollkommnen Ableitung verſichert ſeyn konnte.

Wird nun der Batterie von dem Conductor der Maſchine her $+E$ zugeführt, ſo wird die abgeſtoßene $+E$ von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren der Maaßflaſche wandern, und die Ladung derſelben bewirken; hat aber dieſe Ladung eine gewiſſe Grenze erreicht, ſo erfolgt eine Entladung der Maaßflaſche, ſo daß nun von neuem $-E$ von der inneren Belegung der Maaßflaſche zur äußeren der Batterie übergehen kann, weil ja der urſprüngliche Zuſtand der inneren Belegung der Maaßflaſche durch die Entladung bis auf ein unbedeutendes Reſiduum, welches aber bei allen folgenden Entladungen daſſelbe bleibt, wieder hergeſtellt worden iſt. So oft alſo bei fortgeſetztem Drehen der Maſchine eine Entladung der Lane'ſchen Flaſche erfolgt, ſo oft iſt auf die äußere Belegung der Batterie dieſelbe Menge $-E$ übergegangen, ſo oft iſt alſo auch die Ladung der Batterie um dieſelbe Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie iſt alſo der Anzahl der Selbſtentladungen der Maaßflaſche proportional.

Die Entfernung der Kugeln der Maaßflaſche war bei den Rieß'ſchen Verſuchen bald $\frac{1}{2}'''$, bald $1'''$; doch blieb ſie bei einer und derſelben Verſuchsreihe ſtets dieſelbe.

Rieß bezeichnet die auf die äußere Belegung der Batterie übergegangene E Menge durch q. Die Einheit, durch welche q gemeſſen wird, iſt die Elektricitätsmenge, welche bei jeder Selbſtentladung der Maaßflaſche der Batterie zugeführt wird. Alſo $q = 8$ heißt ſo viel als: die Ladung der Batterie iſt ſo lange fortgeſetzt worden, bis 8 Entladungen der Maaßflaſche ſtattgefunden hatten.

Die Dichtigkeit der elektrischen Ladung der Batterie hängt nicht allein ab von der Quantität der ihr zugeführten E, sondern auch von der Größe der Oberfläche, auf welcher sie sich verbreitet. Wird dieselbe Elektricitätsmenge auf die doppelte, dreifache u. s. w. Oberfläche verbreitet, so wird ihre Dichtigkeit auch 2mal, 3mal geringer werden, kurz die Dichtigkeit der E ist also der Größe der Oberfläche der Batterie umgekehrt, der Quantität der zugeführten E aber direct proportional, die Dichtigkeit der E auf einer geladenen Batterie läßt sich also ausdrücken durch

$$\frac{q}{s},$$

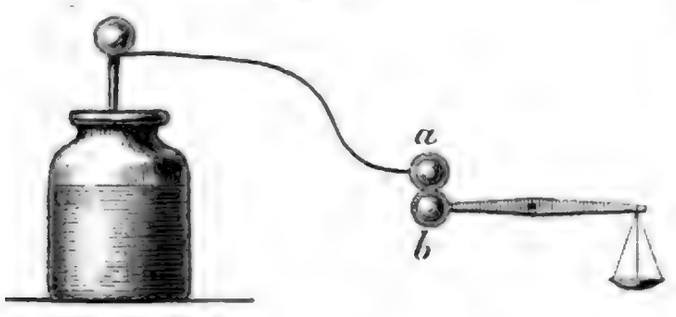
wenn q die Quantität der zugeführten E, s aber die Größe der Oberfläche bezeichnet.

Rieß wandte zu seinen Versuchen Flaschen an, die so viel als möglich gleich waren, so daß die Oberfläche der Batterie der Anzahl der Flaschen proportional ist. Die Oberfläche einer Flasche werde als Flächeninhalt angenommen.

Um genaue Resultate zu erhalten, muß die Ladung der Batterie continuirlich, nicht durch vom Conductor aus überspringende Funken geschehen.

Abstoßung an der inneren Belegung der Batterie. Wenn man 30
mit der inneren Belegung der ersten Flasche einer Batterie einen Draht verbindet, der mit einer Metallkugel endigt, ungefähr so, wie es Fig. 49 angedeutet ist, so wird sich auch auf dieser Kugel die freie Elektricität der innern Belegung der geladenen Batterie verbreiten. — Mit dieser Kugel a sey nun eine zweite Kugel b in Berührung, die an dem einen Ende eines Glasstabes befestigt ist, der um seine Mitte leicht drehbar ist, und an seinem andern Ende eine kleine Wagschale trägt. Die Wagschale ist so belastet, daß sie der Kugel b gerade das Gleichgewicht hält.

Fig. 49.



Der Glasstab war 12″ lang, und hatte in der Mitte eine Fassung mit stählernen Zapfen, mit welchen er auf den rundgeschliffenen Kanten zweier Agatplatten auflag.

Es wurde nun 1, 2, 3, 4 Gran auf die Wagschale gelegt, und ermittelt, welche Quantität E man aus der Maaßflasche auf die äußere Belegung der Batterie übergehen mußte, bis die Kugel b abgestoßen wurde.

Als die Batterie nur aus einer Flasche bestand, und 1 Gran aufgelegt

war, erfolgte die Abstoßung nach 2, als 3 Gran auflagen, erst nach 4 Entladungen der Maaßflasche.

Jeder Versuch wurde 2mal gemacht und aus beiden das Mittel genommen. Dann wurden dieselben Versuche auch mit einer Batterie von 2, 3 . . . bis 5 Flaschen wiederholt. Die Resultate dieser Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

s	1	2	3	4	5
p	q	q	q	q	q
1	2,0	4,5	7,0	8,7	10,0
2	3,5	6,0	10,0	12,0	15,5
3	4,0	7,7	11,7	15,0	20,0
4	4,5	9,0	13,3	17,7	24,0

Die Quantität 4,5 hebt dieser Tabelle zufolge eine Last von 4 Gran, wenn nur 1 Flasche angewendet wird, während dieselbe Quantität 4,5 auf 2 Flaschen vertheilt, nur 1 Gran hebt; der Effect ist also (bei gleicher Quantität) dem Quadrat der Oberfläche umgekehrt proportional, da ja bei doppelter Oberfläche eine 4mal geringere Wirkung entsteht.

Betrachten wir die Versuchsreihe mit 2 Flaschen. Die Quantität 4,5 hebt 1 Gran, die doppelte Quantität 9,0 hebt die vierfache Last, nämlich 4 Gran; bei gleicher Oberfläche ist demnach hier die gehobene Last, also die Stärke der Abstoßung, dem Quadrat der Quantität proportional.

Aus den eben betrachteten Zahlen schließen wir also, daß die Abstoßung der Kugeln direct dem Quadrat der elektrischen Quantität, umgekehrt aber das Quadrat der Oberfläche proportional ist, daß also

$$p = a\,\frac{q^2}{s^2} = a\left(\frac{q}{s}\right)^2,$$

oder daß die Abstoßung der Kugeln dem Quadrat der Dichtigkeit der E proportional ist, da ja $\frac{q}{s}$ diese Dichtigkeit bezeichnet.

Wir haben dies Gesetz aus drei willkürlich ausgesuchten Beobachtungen abgeleitet, wir müssen noch zeigen, wie weit auch die übrigen Beobachtungen damit übereinstimmen.

Diesem Gesetze zufolge wird bei gleicher Flaschenzahl die doppelte elektrische Quantität die 4fache Wirkung hervorbringen; es müssen also die Werthe von q, welche in der untersten Horizontalreihe stehen, doppelt so groß seyn, als die in derselben Vertikalreihe zu oberst stehenden Werthe

von q. Dies ist jedoch nur für die mit 2 überschriebene Vertikalreihe streng wahr; die Quotienten

$$\frac{4,5}{2} = 2,25; \quad \frac{13,3}{7} = 1,90; \quad \frac{17,7}{8,7} = 2,03; \quad \frac{24}{10} = 2,40$$

weichen mehr oder weniger von 2 ab. Nimmt man aber aus allen 5 Quotienten (den Quotienten $\frac{9,0}{4,5} = 2$ mitgerechnet) das Mittel, so erhält man die Zahl 2,11, welche in der That sehr nahe gleich 2 ist.

Die Quotienten, welche man erhält, wenn man mit dem Werthe von q in der obersten Horizontalreihe in die unter ihnen der zweiten dividirt, sollten nach dem Gesetz $= \sqrt{2} = 1,41\ldots$ seyn. Das Mittel aus den 5 Quotienten ist 1,48.

Wenn man auf dieselbe Weise die Zahlen der ersten und dritten Horizontalreihe vergleicht, so erhält man als Mittel aus den 5 Quotienten den Werth 1,82, während dem Gesetz zufolge dieser Quotient $\sqrt{3} = 1,73\ldots$ seyn sollte.

Da nach dem oben ausgesprochenen Gesetze die Abstoßung dem Quadrate der Dichtigkeit proportional ist, so muß bei gleicher Wirkung, also bei gleichem Werthe von p die elektrische Quantität im Verhältniß der Fläche wachsen; die Zahlen der mit 2 überschriebenen Vertikalreihe müssen also doppelt so groß seyn, als die in gleicher Horizontalreihe unter 1 stehenden; oder mit andern Worten, die Quotienten $\frac{4,5}{2}$, $\frac{6,0}{3,5}$, $\frac{7,7}{4,0}$, $\frac{9,0}{4,5}$ müßten alle gleich 2 seyn. Berechnet man diese Quotienten, nimmt man dann aus ihnen das Mittel, so erhält man die in der That wenig von 2 abweichende Zahl 1,97.

Vergleicht man auf dieselbe Weise die dritte, vierte und fünfte Vertikalreihe der Werthe von q mit der ersten, so erhält man als Mittelwerthe die Quotienten

	3,05	3,84	4,94
statt	3	4	5

Man sieht, daß die Mittelzahlen ziemlich gut mit dem Gesetz harmoniren.

Schon durch Coulomb's Versuche ist bewiesen, daß zwei isolirte Leiter, welche in Berührung sind, nachdem sie eine elektrische Ladung erhalten haben, sich mit einer Kraft abstoßen, welche dem Quadrat der elektrischen Dichtigkeit proportional ist.

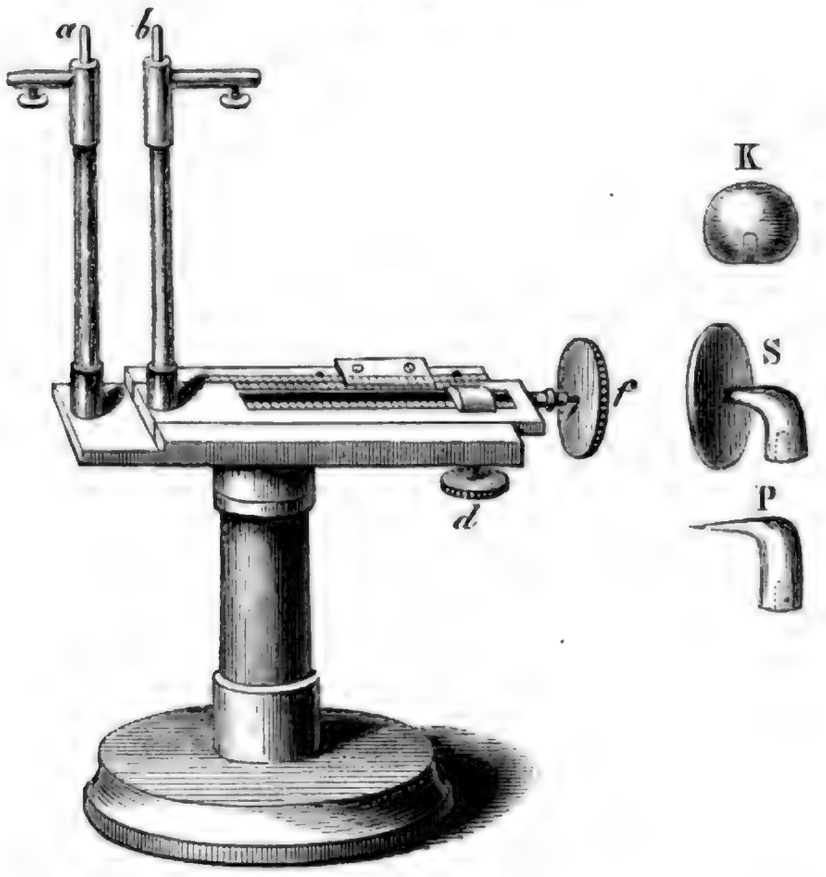
In den bisher besprochenen Versuchen ist nun aber nicht direct die Dichtigkeit E auf die Kugeln, sondern die Quantität der E gemessen worden, welche auf der äußeren Fläche der Batterie gebunden ist. Die Ueber-

einſtimmung unſerer Reſultate mit dem Coulomb'ſchen Geſetze beweiſ't alſo, daß die Dichtigkeit der freien E der inneren Belegung (welche die Abſtoßung der Kugeln bewirkt) zu der gebundenen auf der äußeren Belegung ſtets in demſelben Verhältniſſe ſteht, oder mit andern Worten, daß der Condenſationscoefficient von der Quantität der E im Innern der Batterie unabhängig iſt.

31 **Schlagweite der Batterie.** Die Verſuche von Rieß über dieſen Gegenſtand (P. A. 40. 332) beſtätigen die Thatſache, welche ſchon durch Lane und Harris ermittelt war, daß die Schlagweite der Batterie die Dichtigkeit der E proportional iſt.

Um die Schlagweite der Batterie genau meſſen zu können, wandte Rieß einen Apparat an, welchen er das Funkenmikrometer nennt, und der in Fig. 50 abgebildet iſt.

Fig. 50.



Jeder der Meſſingzapfen a und b befindet ſich an einem Meſſingſtück, welches einen horizontalen Arm zum Einklammern von Drähten hat und durch eine Glasſäule iſolirt iſt. Der eine Stab iſt feſt, der andere ſteht auf einem Schlitten, welcher mittelſt der Führſchraube f längs einer Theilung bewegt wird. Löſ't man die Schraube d, ſo kann man den Schlitten frei mit der Hand verſchieben, iſt aber d angezogen, ſo ge-

schieht die feinere Stellung vermittels der Schraube *f*, in dem durch Anziehen von *d* die Mutter der Schraube *f* auf die untere Metallplatte festgedrückt wird. Der ganze Apparat steht auf einem Glasfuß von $2\frac{1}{2}$ Zoll Länge. Auf die Zapfen *a* und *b* können verschiedene Metallkörper aufgesteckt werden; Kugeln *K* von $6\frac{1}{2}$, Scheiben *S* von $8\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser, Spitzen *P* u. s. w.

Bei den zunächst zu betrachtenden Versuchen waren Kugeln aufgesteckt.

Die Versuche sind in folgender Weise angestellt. Der eine Zapfen ist mit der inneren, der andere mit der äußeren Belegung in gut leitende Verbindung gebracht. Die Ladung der Flasche oder Batterie geschah auf die bekannte Weise durch die Lane'sche Flasche. Es wurde beobachtet, wie viel Funken in der Maaßflasche überspringen mußten, bis eine Entladung der Batterie bei einer bestimmten Entfernung *d* den Kugeln des Funkenmikrometers erfolgte. Als Einheit für *d* ist $1\frac{1}{2}$ Linien genommen.

Die Resultate der Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt; *s* und *q* haben die bekannte Bedeutung.

s	2	3	4	5
d	*q*	*q*	*q*	*q*
1	—	3	3,5	4,3
2	3	5,5	7	8,5
3	4,6	8,0	10,1	12,5
4	6,4	10,3	13,5	16
5	7,5	—	16	—

Vergleicht man irgend einen Werth von *q* mit den in derselben Vertikalreihe unter ihm stehenden, so ist der Quotient nahe derselbe wie der dem entsprechenden Werthe von *d*. Nehmen wir z. B. die mit 4 überschriebene Vertikalreihe, also den Fall, wo eine Batterie von 4 Flaschen angewendet wurde, so sehen wir, daß die Quantität 3,5 die Schlagweite 1 giebt, während die doppelte, die vierfache Schlagweite auch die doppelte, die vierfache Quantität, nämlich $7 = 2 . 3{,}5$ und 13,5 nahe gleich $4 . 3{,}5$ erfordert. Die Schlagweite ist also bei einer und derselben Batterie stets der Quantität *q* der zugeführten *E* proportional.

Dies bestätigen auch die anderen Versuche. Die Zahlen der zweiten Horizontalreihe der Werthe von *q* dividirt durch die der ersten, geben als Mittel den Quotienten 1,92, also nahe 2, welches der Quotient der entsprechenden Schlagweiten 2 und 1 ist.

Die zweite und dritte, die zweite und vierte, die zweite und fünfte Horizontalreihe der Werthe von q geben auf diese Weise, verglichen als Mittelwerthe, die Quotienten

$$\begin{array}{lll} 1{,}47 & 1{,}95 & 2{,}39 \\ \text{also nahe } 1{,}5 = 3/2 & 2 = 4/2 & 2{,}5 = 5/2, \end{array}$$

welches die Verhältnisse der entsprechenden Schlagweiten sind.

Die elektrische Quantität 10,3 giebt auf 3 Flaschen vertheilt die Schlagweite 4; dieselbe elektrische Quantität (fast dieselbe, nämlich 10,1) auf 4 Flaschen vertheilt, giebt nun die Schlagweite 3. Wenn also bei gleicher elektrischer Quantität die Oberfläche im Verhältniß von 3 zu 4 wächst, so nimmt die Schlagweite im umgekehrten Verhältniß, nämlich von 4 : 3 ab; die Schlagweite verhält sich also direct wie die elektrische Quantität und umgekehrt wie die Oberfläche, es ist also

$$d = b \frac{q}{s}$$

oder mit anderen Worten: die Schlagweite ist der Dichtigkeit der angehäuften E proportional.

Wenn dies Gesetz allgemein wahr sein soll, wenn also die Schlagweite der Oberfläche der Batterie umgekehrt proportional, der elektrischen Quantität aber direct proportional ist, so muß bei gleicher Schlagweite die elektrische Quantität in demselben Verhältniß wachsen wie die Oberfläche.

In obiger Tabelle müssen demnach die Zahlen einer und derselben Horizontalreihe sich stets verhalten wie die über ihnen stehenden Werthe von s. Es müßte also $\frac{5{,}5}{3}, \frac{8{,}0}{6}, \frac{10{,}3}{6{,}4}$ gleich $3/2$, ferner $\frac{3{,}5}{3}, \frac{7{,}0}{5{,}5}, \frac{10{,}1}{8{,}0}, \frac{13{,}5}{10{,}3}$ gleich $4/3$ u. s. w. seyn, was auch im Mittel nahe zutrifft.

Rieß fand das Gesetz, daß die Schlagweite der Dichtigkeit der angehäuften E proportional ist, auch für den Fall bestätigt, daß er die Funken zwischen zwei parallelen Metallscheiben, oder zwischen einer Kugel und einer Scheibe überschlagen ließ.

Nur fand er, daß unter sonst gleichen Umständen die Schlagweite zwischen zwei Scheiben größer ist, als zwischen zwei Kugeln, und daß bei parallelen Scheiben die Funken nicht in der Mitte, sondern am Rande oder doch in der Nähe des Randes überschlagen. Für eine Kugel und eine Scheibe ist die Schlagweite größer als für zwei Kugeln und kleiner als für zwei Scheiben.

32 **Schlagweite der Batterie unabhängig vom Schließungsbogen.** Man war früher der Ansicht, daß die Schlagweite der Batterie von der Natur des Schließungsbogens abhängig sey, daß sie größer sey bei gut me-

tallischer Schließung, kleiner bei schlechter Schließung. Rieß hat gezeigt, daß dies nicht der Fall ist (P. A. 53. 1.).

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt. Der eine Zapfen des Funkenmikrometers war mit der inneren Belegung der Batterie durch einen dicken Kupferdraht verbunden; ein zweiter dicker Kupferdraht führte von dem anderen Zapfen zu dem einen Arm des Henley'schen Ausladers, dessen anderer Arm mit der äußeren Belegung der Batterie in gut leitender Verbindung war. Zwischen dem Arme des Ausladers wurde nun der Reihe nach eingeschaltet:

1) ein 4‴ langer, ½‴ dicker Kupferdraht,
2) ein 102″ langer, 0,052‴ dicker Platindraht,
3) eine mit Wasser gefüllte Glasröhre 8,3″ lang, 4,5‴ dick,

also einmal eine sehr vollkommene, einmal eine metallische, aber doch unvollkommene und endlich eine sehr unvollkommene Schließung.

Die Resultate der Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt

		Einschaltung in dem Schließungsbogen.		
		Kupferdraht.	Platindraht.	Wasserröhre.
s	d	q	q	q
3	1	6	6	6
	2	10,2	10,5	10,5
	3	15	15	14,5
4	1	8	8	8
	2	14,5	14	14
	3	21,5	19,7	19,5
5	1	10	10	11
	2	18	19	19
	3	27	25,5	26

Man sieht aus dieser Tabelle, daß bei gleicher Flaschen-Zahl s, bei gleicher Entfernung d den Kugeln des Funkenmikrometers auch der Werth von q immer fast ganz genau gleich ist, mag nun der Platindraht, der Kupferdraht oder die Wasserröhre eingeschaltet seyn, bei gleicher Ladung ist also die Schlagweite dieselbe, auf welche Weise der Schließungsbogen auch zusammengesetzt ist.

Die Schlagweite der elektrischen Batterie ist also gänz-

lich unabhängig von der Beschaffenheit des Schließungsbogens, vorausgesetzt, daß die Flächen, zwischen welchen die Entladung stattfindet, unverändert bleiben.

Während die Schlagweite durch die Natur des Schließungsbogens nicht alterirt wird, hat diese auf die Funken selbst großen Einfluß. Fünf Flaschen einer Batterie geben bei einer gewissen Ladung und bei Anwendung des Kupferdrahts $1\frac{1}{2}$ Linien lange Funken von einem unerträglichen Glanz mit einem schmetternden Knalle, während bei Anwendung des Platindrahtes bei gleicher Ladung ein Funke von gleicher Länge, aber schwachem Lichte und dumpfem Schalle erhalten wurde und die Wasserröhre einen kaum merklichen Funken erscheinen ließ.

33 **Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet.** Wenn die Batterie in der Schlagweite entladen wird, so bleibt noch eine merkliche Ladung zurück, welche bei größerer Annäherung der Kugeln einen zweiten Entladungsfunken giebt. Man kann sich von der Thatsache leicht schon mit der Maaßflasche allein überzeugen. Man stelle die Kugeln der Maaßflasche etwa 2 Linien auseinander und lade bis zum Ueberspringen des Funkens; nähert man nun die Kugeln einander, so wird alsbald ein zweiter Funken überspringen.

Rieß hat in dem zuletzt erwähnten Aufsatz gezeigt, daß die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite verschwindet, immer in demselben Verhältniß zur ganzen Ladung steht, und daß sie dieselbe sey, mag nun der Schließungsbogen aus besser oder schlechter leitenden Metalldrähten zusammengesetzt seyn.

Der Versuch war ganz so arrangirt wie die Versuche, deren Resultat in der letzten Tabelle zusammengestellt sind; bei einer Versuchsreihe war der Kupferdraht, bei der anderen der Platindraht im Henley'schen Auslader. Nachdem die Entladung in der Schlagweite stattgefunden hatte, nachdem also ein Theil der Batterieladung verschwunden war, wurde der Batterie von neuem Elektricität zugeführt, bis abermals eine Entladung in der Schlagweite stattfand. Es wurde also gezählt, wieviel Funken der Entladungsflasche nöthig waren, um die erste Entladung der Batterie zu bewirken, alsdann aber wieviel Funken der Maaßflasche nöthig waren, um die bei der ersten Entladung verschwundene Elektricitätsmenge wieder zu ersetzen.

Wie groß unter verschiedenen Umständen die ganze Ladung war, als die Entladung in der Schlagweite erfolgte, sehen wir aus der vorigen Tabelle, wieviel Elektricität alsdann aber der Batterie von neuem zugeführt werden mußte, um die zweite Entladung und der Schlagweite zu erhalten, sehen wir aus der folgenden Tabelle.

		Einschaltung in dem Schließungsbogen.	
		Kupferdraht 4‴.	Platindraht 102‴.
s	d	q'	q'
3	1	5	5
	2	8,8	8,7
	3	13	12,5
4	1	6,5	6,5
	2	12,5	11,7
	3	17	17
5	1	9	9
	2	15	16,5
	3	22,5	22,5

Zunächst sehen wir aus dieser Tabelle, daß die Elektricitätsmenge q', welche man nach der ersten Entladung in die Schlagweite der Battrie zuführen mußte, um eine abermalige Entladung in der Schlagweite zu bewirken, also die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung in der Schlagweite vernichtet wird, fast immer ganz dieselbe ist, mag nun der kurze Kupferdraht oder der lange Platindraht eingeschaltet seyn.

Bei 3 Flaschen und der Entfernung 1 der Kugeln des Funkenmikrometers war die Elektricitätsmenge $q=6$ zur ersten Entladung nöthig; um nun die zweite Entladung zu bewirken, mußte der Batterie abermals die Elektricititätsmenge $q'=5$ zugeführt werden; bei der Entladung in der Schlagweite 1 waren also $^5/_6$ der ganzen Ladung verschwunden, oder mit anderen Worten $\frac{q'}{q}$, war gleich $^5/_6=0{,}833\ldots\ldots$

Für $s=4$, $d=1$, war $q=8$, $q'=6{,}5$, also $\frac{q'}{q}=\frac{6{,}5}{8}=0{,}812\ldots.$

Für $s=5$, $d=1$, war $q=10$, $q'=9$, also $\frac{q'}{q}=^9/_{10}=0{,}9.$

Für $s=5$, $d=3$ war $q=27$, $q'=22{,}5$, also $\frac{q'}{q}=\frac{22{,}5}{27}=0{,}833\ldots$

Für $s=4$, $d=2$, war $q=14{,}5$, $q'=12{,}5$, also $\frac{q'}{q}=\frac{12{,}5}{14{,}5}=0{,}862.$

Man sieht also, daß unter den verschiedensten Umständen bei der Ent-

ladung in der Schlagweite immer sehr nahe derselbe Antheil der ganzen Ladung verschwindet. Als Mittel aus allen in den beiden letzten Tabellen angeführten Versuchen ergiebt sich, daß sowohl bei guter als auch bei schlechter metallischer Schließung bei der Entladung in der Schlagweite 0,846 oder $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verschwinden, daß also noch $^{2}/_{13}$ der ganzen Ladung zurückbleiben.

Als Rieß statt der Kugeln parallele Metallplatten auf das Funkenmikrometer aufsetzte, ergab eine Versuchsreihe für $\frac{q'}{q}$ im Mittel den Werth 0,849; und als noch eine Unterbrechung von 0,3‴ im Schließungsbogen angebracht wurde, ergab sich $\frac{q'}{q}=0{,}842$, also fast genau derselbe Werth für die in der Schlagweite verschwundene Elektricitätsmenge.

Wahrscheinlich ist der Werth von $\frac{q'}{q}$ von der Dicke des Glases der Batterie abhängig, doch sind darüber bis jetzt noch keine Versuche gemacht.

34 **Erfolg bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren.** Aus diesen Versuchen läßt sich der Vorgang leicht bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren bestimmen, wo eine mit der äußeren Belegung verbundene bewegliche Kugel der festen Kugel der inneren Belegung bis zur Berührung genähert wird. Wenn die bewegliche Kugel in die Schlagweite, welche wir mit d bezeichnen wollen, gekommen ist, so verschwinden $^{11}/_{13}$ der Ladung, es bleiben $^{2}/_{13}$ zurück; es kann erst wieder eine Entladung stattfinden, wenn die bewegliche Kugel bis auf $^{2}/_{13}\,d$ genähert ist, bei welcher Entfernung nun abermals $^{11}/_{13}$ der noch übrigen Ladung verschwinden; eine dritte Entladung erfolgt, wenn die bewegliche Kugel auf $(^{2}/_{13})^2\,d$ genähert ist u. s. w. Beträgt z. B. die ursprüngliche Schlagweite $1^{1}/_{2}$ Linien, so erfolgen die Entladungen bei folgenden Entfernungen:

1,5 0,23 0,035 0,0055 Linien,

bei welchen schon die dritte nicht mehr von der Berührung zu unterscheiden ist. Bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren wird also der Schließungsbogen von mehreren Entladungen ergriffen, die nach einander stattfinden.

35 **Erfolg bei der Entladung in der Schlagweite.** Bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet eine so bedeutende Menge von Elektricität, daß nicht etwa eine geringe Annäherung der Kugeln eine zweite Entladung zur Folge hat, sondern daß die Schlagweite auf $^{2}/_{13}$ der ursprünglichen reducirt wird. Daß eine so große Menge von Elektricität, daß nämlich $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verschwinden, scheint darauf hinzudeuten, daß auch die Entladung in der Schlagweite eine successive ist; durch den Uebergang der ersten Elektricitätsmenge wird die Luft verdünnt, und dadurch der Uebergang neuer Elektricitätsmengen möglich gemacht, welche

nicht hätten übergehen können, wenn der zu überwindende Widerstand nicht durch die Verdünnung der Luft vermindert worden wäre. Der Uebergang der Elektricität dauert fort, bis die Ladung der Batterie so schwach geworden ist, daß bei der constanten Entfernung der Kugeln trotz des wegen der verdünnten Luft geringen Widerstandes kein Funken mehr übergehen kann. Hat nun die Luft zwischen den Kugeln ihre gewöhnliche Dichtigkeit wieder erlangt, so ist nun eine bedeutende Annäherung der Kugeln nöthig, um eine abermalige Entladung möglich zu machen. Bei der Entladung in der Schlagweite wird also ihre Elektricität successiv vernichtet.

Ein Beweis für diese successive Entladung ist der Umstand, daß der Rest der Entladung viel bedeutender bleibt, daß also eine geringere Menge von Elektricität bei der Entladung vernichtet wird, wenn schon die erste übergehende Elektricitätsmenge eine Unterbrechung des Schließungsbogens veranlaßt, wie dies z. B. der Fall ist, wenn ein dünner, in dem Schließungsbogen eingeschalteter Draht durch den Entladungsschlag geschmolzen wird, ein Fall, den wir später noch genauer betrachten werden.

Ein weiterer Beweis für die successive Entladung in der Schlagweite ist auch der Umstand, daß die rückständige Ladung viel bedeutender ist, wenn man in den Schließungsbogen eine Röhre mit Wasser einschaltet.

Statt des schon auf S. 97 besprochenen Kupferdrahts oder Platindrahts wurde die daselbst besprochene Glasröhre mit Wasser eingeschaltet, und eine mit diesem Schließungsbogen angestellte Versuchsreihe gab folgende Resultate.

s	d	Ganze Ladung. q	Hinzukommende Ladung. q'
3	1	6	3,5
	2	10,5	7
	3	14,5	10,5
4	1	8	4,5
	2	14	9
	3	19,5	13,5
5	1	11	5
	2	19	11,7
	3	26	17

Obgleich die Schlagweite unter ſonſt gleichen Umſtänden dieſelbe iſt, wie bei metalliſcher Schließung, ſo iſt doch die Menge der Elektricität, welche bei der Entladung in der Schlagweite verſchwindet, viel geringer als bei metalliſcher Schließung. Während bei metalliſcher Schließung $\frac{q'}{q} = {}^{11}/_{13}$ 0,846 war, iſt ſie hier nur $^5/_8 = 0{,}625$; der Reſt der Ladung betrug alſo dort $^2/_{11} = 0{,}154$; hier iſt er $^3/_8 = 0{,}375$, der Rückſtand iſt alſo hier mehr als doppelt ſo groß.

Rieß erklärt dies auf folgende Weiſe. Wenn eine Batterie geladen iſt, ſo ſteht die Elektricitätsmenge auf der äußeren und inneren Belegung in einem beſtimmten Verhältniß. Auf der inneren Belegung iſt ein Ueberſchuß, welcher ein aliquoter Theil der ganzen auf der inneren Belegung befindlichen Elektricitätsmenge iſt. Auch die Menge der auf der äußeren Belegung gebundenen Elektricität ſteht in einem beſtimmten Verhältniß zu dieſem Ueberſchuß. — Im erſten Moment der Entladung wird nun gleich viel Elektricität von der inneren und äußeren Belegung verſchwinden, jenes Verhältniß iſt alſo zerſtört, es iſt jetzt verhältnißmäßig mehr freie Elektricität auf der inneren Belegung als beim Zuſtand vollkommener Ladung, und dadurch wird die fernere Entladung befördert. Iſt nun aber die Waſſerröhre eingeſchaltet, ſo iſt dadurch die Entladung ſo ſehr verzögert, daß der Ueberſchuß der inneren Belegung durch das Glas hindurchwirkend aus den Umgebungen die entgegengeſetzte Elektricität nach der äußeren Belegung ziehen kann, daß er alſo hier vollſtändiger gebunden, und ſein Uebergang zwiſchen den Kugeln des Funkenmikrometers dadurch gehindert wird. Es ſpricht alſo dieſe Erſcheinung ebenfalls ſchon für die ſucceſſive Entladung in der Schlagweite.

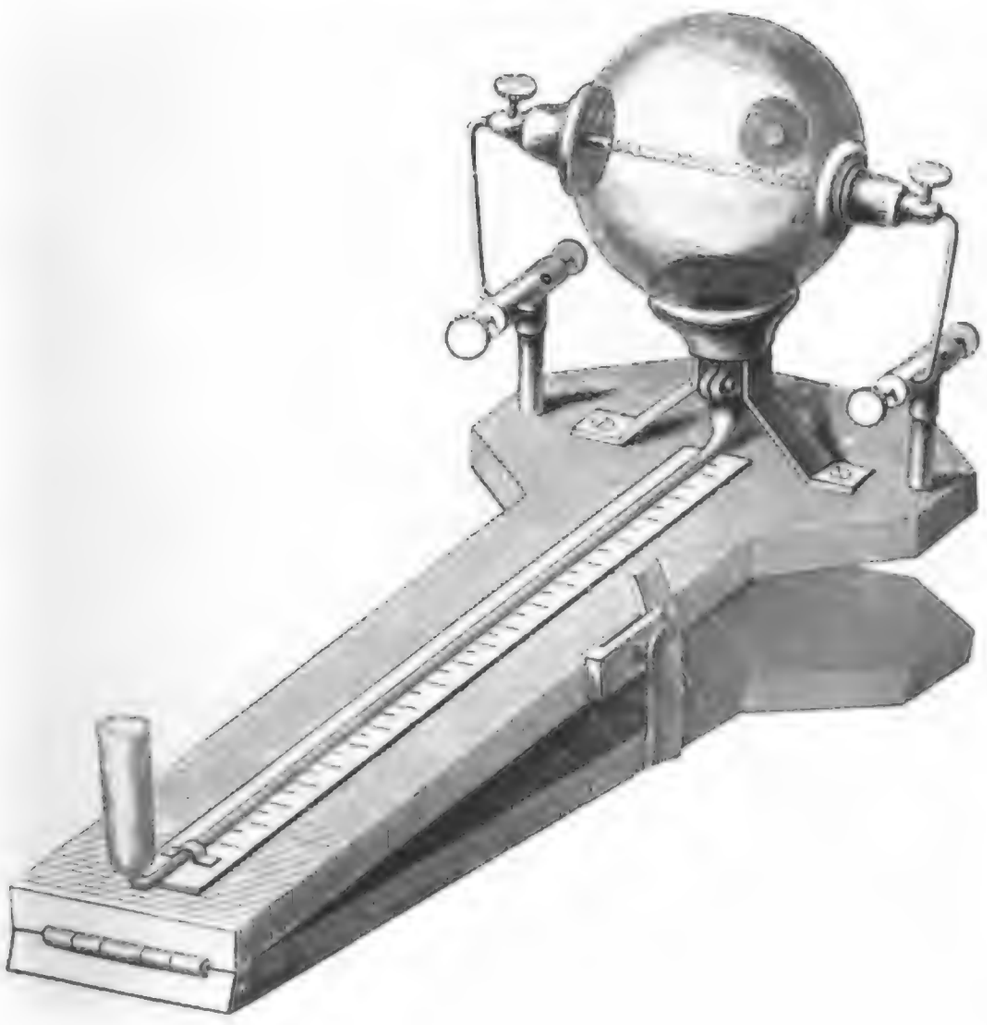
36 **Erwärmung im Schließungsbogen der elektriſchen Batterie.** Um Verſuche über die Erwärmung dünner Dräthe durch den Entladungsſchlag der Batterie anzuſtellen, wandte Rieß nach Harri's Vorgang ein Luftthermometer an, durch deſſen etwas große Kugel der Drath ausgeſpannt war. Die Röhre dieſes Thermometers, eng im Vergleich zur Kugel, war ſchräg nach unten gekehrt, und endigte mit einem aufwärts gebogenen weiteren Gefäße, ſo daß ein Faden dieſer Flüſſigkeit in die Thermometerröhre hineinragte.

Die Skale der Thermometerröhre war in Linien getheilt. Dieſes Thermometer iſt Fig. 51. abgebildet.

Durch den Entladungsſchlag wurde nun der Drath, und in Folge deſſen auch die Luft in der Kugel erwärmt, die Flüſſigkeitsſäule in der Röhre niedergedrückt. Die in Linien ausgedrückte Depreſſion der Flüſſigkeitsſäule iſt als Maaß der Erwärmung zu betrachten.

Eine genauere Beſchreibung des Luftthermometers wird weiter unten folgen.

Fig. 51.



Die Resultate einer Versuchsreihe mit einem 0,0547‴ dicken Platindrathe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

s	2	3	4	5	6
q	h	h	h	h	h
2	1,5				
3	4,3	3	2	1,5	
4	6,7	4,5	3,2	3,0	2,6
5	9,3	7,0	5,2	4,5	3,8
6	13,4	9,7	7,3	6,5	5,5
7		15	11,0	8,8	7,3
8		17,5	14,1	11,3	9,3
9			17,8	14,3	11,7
10				16,7	14,3

Digitized by Google

h bezeichnet die in Linien ausgedrückte Depreſſion in der Thermometerröhre, q und s haben ihre frühere Bedeutung.

Nehmen wir an (was ſpäter noch nachgewieſen werden ſoll), daß die Depreſſionen der Temperaturerhöhung des Drahtes proportional ſind, ſo ergiebt ſich aus dieſen Verſuchen, daß die Erwärmung dem Quadrat der elektriſchen Dichtigkeit direct, der Größe der Oberfläche der Batterie aber umgekehrt proportional iſt, oder daß

$$h = n\frac{q^2}{s},$$

dies läßt ſich aus obiger Tabelle leicht ableiten.

Wenn die Depreſſion h dem Quadrat der Quantität q proportional ſeyn ſoll, ſo muß bei gleicher Flaſchenzahl die Quantität 8 eine viermal ſo große Wirkung hervorbringen als die Quantität 4. Für 3 Flaſchen haben wir für $q = 8$, $h = 17{,}5$; für $q = 4$, $h = 4{,}5$; es iſt aber $\frac{17{,}5}{4{,}5} = 3{,}89$, alſo wirklich nahe gleich 4; für 4 Flaſchen wird dieſer Quotient $\frac{14{,}1}{3{,}2} = 4{,}4$; für 5 Flaſchen $\frac{11{,}3}{3} = 3{,}77$ für 6 Flaſchen $\frac{9{,}3}{2{,}6} = 3{,}57$ Im Mittel iſt dieſer Quotient 3,9, alſo ſehr nahe 4.

Die doppelte Quantität entſpricht alſo der vierfachen Wirkung.

Vergleichen wir die Effecte, welche die Quantität 3 hervorbringt, mit der Wirkung der Quantität 9, ſo erhalten wir für 4 Flaſchen den Quotienten $\frac{17{,}8}{2} = 8{,}9$, für 5 Flaſchen $\frac{14{,}3}{1{,}5} = 9{,}53$, im Mittel alſo 9,21. Die dreifache Quantität bringt alſo die neunfache Depreſſion hervor.

Wenn man auf dieſelbe Weiſe die anderen Zahlen der Tabelle vergleicht, ſo findet man, daß wenigſtens im Mittel bei gleicher Flaſchenzahl h der Quadrat von q proportional iſt.

Eben ſo läßt ſich aus der Tabelle zeigen, daß bei gleichem Werth von q ſich h umgekehrt verhält wie s, daß alſo, wenn dieſelbe elektriſche Quantität auf die doppelte der dreifachen Oberfläche vertheilt iſt, die Depreſſion zweimal, dreimal geringer iſt. Dies ergiebt ſich aus der Tabelle wenigſtens im Mittel als ſehr nahe richtig.

Für $s = 3$, $q = 4$ iſt nach obiger Tabelle $h = 4{,}5$. Dieſe Werthe in obige Gleichung geſetzt, kommt

$$4{,}5 = n\frac{16}{3},$$

woraus $n = 0{,}843$.

Berechnet man auf dieſelbe Weiſe den Werth der Conſtanten n aus allen einzelnen Beobachtungen, d. h. aus allen zuſammen gehörigen Werthen

von h, s und q obiger Tabelle, so ergiebt sich n als Mittel aus allen in obiger Tabelle angeführten Versuchen gleich 0,88.

Einfluß der Dicke der Drähte im Thermometer. Der Werth 37
des Constanten n ändert sich, sobald ein anderer Draht in die Thermometerkugel eingezogen wird. Rieß wiederholte die Versuche mit gleich langen aber ungleich dicken Drähten. Ohne die Tabellen, in welchen diese Versuche zusammengestellt sind, alle hierher zu setzen, wollen wir nur die Endresultate betrachten.

Für Drähte von dem Durchmesser

0,119 0,078 0,0547 0,05 0,0225 Linien

fand er im Durchschnitt den Werth von n gleich

0,18 0,45 0,88 1,02 2,69.

Aus der Gleichung

$$h = n \cdot \frac{q^2}{s}$$

geht hervor, daß wenn man mit Drähten von gleicher Länge, aber ungleicher Dicke Versuche anstellt, indem man dieselbe Batterie (also bei gleichem Werthe von s) mit gleicher Ladung (also unverändertem Werthe von q) anwendet, daß sich alsdann die Depressionen h verhalten werden wie die Werthe von n, welche diesen Drahtdicken zukommen. Vergleichen wir aber obige Werthe von n mit den entsprechenden Durchmessern der Drähte, so finden wir, daß sich caeteris paribus die Werthe von n, also auch die Depressionen der Flüssigkeitssäule, oder die Erwärmung der Luft in der Kugel des Luftthermometers verhalten wie die Quadrate der entsprechenden Drahthalbmesser.

Bezeichnen wir obige Drähte der Dicke nach mit 1, 2, 3, 4 und 5, so verhalten sich die Quadrate der Halbmesser des 4ten und 1sten wie $0{,}05^2$ zu $0{,}119^2$, oder wie 0,0025 zu 0,014169; es ist aber $\frac{0{,}014169}{0{,}0025} = 5{,}66$ umgekehrt wie die Quadrate dieser Durchmesser verhalten sich die entsprechenden Werthe von n, denn es ist

$$\frac{1{,}02}{0{,}18} = 5{,}66.$$

Dividirt man das Quadrat des Durchmessers des Drahtes 1 der Reihe nach durch die Quadrate der Durchmesser der anderen Drähte, so erhält man folgende Quotienten

2,33 4,73 5,66 28,

dividirt man aber den Werth von n für den ersten Draht der Reihe nach in den Werth von n, für den 2ten, 3ten u. s. w., so erhält man folgende Quotienten

2,5 4,88 5,66 15,

welche ſehr nahe den obigen gleich ſind; nur für den dünnſten Draht differiren die Quotienten 28 und 15 bedeutend.

Laſſen wir dieſen dünnſten Draht unberückſichtigt, ſo folgt aus den übrigen Verſuchen, daß ſich die Werthe des Factors n, folglich auch die Depreſſionen im Luftthermometer oder die Temperaturerhöhungen der Luft in der Kugel umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Durchmeſſer der Dräthe; oder mit anderen Worten: Die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt caeteris paribus dem Querſchnitt des Drahtes nmgekehrt proportional; oder in Zeichen:

$$w = \frac{\alpha \cdot q^2}{r^2 s},$$

wo $\frac{\alpha}{r^2}$ ſtatt n in die Gleichung geſetzt iſt und α einem conſtanten Factor bezeichnet.

Wenn alſo ein 2mal, 3mal ſo dicker Draht in das Luftthermometer eingezogen iſt, ſo wird die Erwärmung der Luft in der Kugel 4mal, 9mal geringer ſeyn, wenn ſonſt alles unverändert bleibt.

Die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt offenbar der im Drahte freigewordenen Wärmemenge proportional, was alſo eben von der Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel geſagt wurde, gilt auch von der in den Drähten freigewordenen Wärmemenge.

Ein 2mal, 3mal, 4mal ſo dicker Draht hat bei gleicher Länge eine 4mal, 9mal, 16mal größere Maſſe; wenn nun in dieſen dickeren Drähten eben ſo viel Wärme frei wird, als in den dünneren, ſo hat ſich dieſelbe Wärmemenge über eine größere Maſſe zu verbreiten, die Temperaturerhöhung iſt alſo der Maſſe, mithin dem Quadrat des Halbmeſſers umgekehrt proportional, oder in Zeichen

$$T = \gamma \frac{w}{r^2},$$

wo γ ebenfalls einen conſtanten Factor, T hingegen die Temperaturerhöhung des Drahtes bezeichnet. Aus dieſer letzten Gleichung folgt

$$w = \frac{T r^2}{\gamma},$$

und wenn man dieſen Werth von w dem oben gegebenen gleichſetzt, alſo

$$\frac{T r^2}{\gamma} = \frac{\alpha}{r^2} \frac{q^2}{s},$$

ſo kommt

$$T = \frac{\alpha \gamma}{r^4} \frac{q^2}{s} = \frac{\beta}{r^4} \frac{q^2}{s},$$

d. h. in Worten: die Temperaturerhöhung eines Drahtes iſt caeteris paribus der 4ten Potenz ſeines Halbmeſſers umgekehrt proportional, alſo ein 2mal, 3mal ſo dicker Draht wird,

wenn eine ganz gleiche elektrische Ladung von derselben Dichtigkeit durch ihn entladen wird, eine 16mal, 81mal geringere Temperaturerhöhung erfahren, vorausgesetzt, daß die Drahtlänge unverändert bleibt.

Diese Beziehungen gelten natürlich nur so lange, als man Drähte von derselben Substanz mit einander vergleicht, da ja jede Substanz eine andere specifische Wärme hat, also für sie ein anderes Verhältniß zwischen Wärmemenge und Temperaturerhöhung stattfindet.

Bei den bisher besprochenen Rieß'schen Versuchen waren Platindrähte in das Thermometer eingespannt.

Der letzte ganz dünne Draht paßt nicht mehr in das Gesetz, was Rieß durch die Annahme erklärt: das Gesetz gelte nur für gleiche Entladungszeit und diese sey wirklich als gleich zu betrachten, so lange der Durchmesser der Drähte nicht über eine gewisse Gränze abnehme, sey dies aber der Fall, so verzögern die Drähte die Entladung, und eine Folge dieser Verzögerung ist dann eine geringere Temperaturerhöhung.

Seine ersten Versuche zeigten ihm, daß wenn die Länge des Drahtes in der Kugel zunahm, die Erwärmung etwas geringer wurde.

Einfluß der Länge des Drahtes im Thermometer. Wenn der 38
Draht im Thermometer verlängert wurde, so zeigte sich eine kleine Abnahme in der Erwärmung, was auf eine Verzögerung der Entladung hindeutet. — Wenn aber der Schließungsbogen an und für sich ganz unverändert bleibt und man die Erwärmung an verschiedenen Stellen desselben untersucht, so zeigt sich die Erwärmung von der Länge der einzelnen Drahtstücke unabhängig.

Hätte man z. B. ein Stück Platindraht in das Luftthermometer, ein anderes gleich dickes und doppelt so langes in den Henley'schen Auslader ausgespannt, in den Schließungsbogen gebracht, so würde eine Entladung der Batterie eine bestimmte Depression hervorgebracht haben. Hätte man nun die Platindrähte vertauscht, hätte man also den aus dem Thermometer in den Auslader gebracht und umgekehrt, so wäre offenbar der Schließungsbogen unverändert geblieben; dieselbe Entladung wird aber nun die doppelte Depression hervorbringen. — Nun aber war jetzt die doppelte Platinmasse im Thermometer, diese hatte die doppelte Wärmemenge abgegeben, die Erwärmung des längeren Platindrahtes war also dieselbe, wie die des kürzeren.

Wir wollen eine der Versuchsreihen näher betrachten, durch welche Rieß diesen Satz bewiesen hat. Der Radius des Drahtes im Thermometer war 0,036‴, seine Länge 59,7‴. Der Halbmesser des Drahtes im Auslader war 0,058‴, seine Länge 100,4‴. Es wurde eine Reihe von Versuchen mit verschiedener Flaschenzahl und verschiedenen Ladungen gemacht, als deren Resultat

$$h = 0{,}91 \frac{q^2}{s}$$

erhalten wurde. Nun wurden die Drähte vertauscht. Eine ähnliche Versuchsreihe gab das Resultat

$$h = 0{,}56 \frac{q^2}{s}.$$

Wäre der zuletzt ins Thermometer gespannte Draht eben so lang gewesen wie der andere, so müßten sich nach dem vorigen Paragraphen die Depressionen verhalten wie die Quadrate der Halbmesser, man würde also im letzten Falle erhalten haben $h = 0{,}35 \frac{q^2}{s}$. Dieser Factor von $\frac{q^2}{s}$ verhält sich zum Factor 0,56 wie 1 zu 1,6. Die Länge des 2ten Drahtes ist aber sehr nahe in demselben Verhältniß, nämlich im Verhältniß von 59,7 zu 100,4 oder 1 zu 1,67 länger.

Die Depression ist also bei der zweiten Versuchsreihe mit Berücksichtigung der verschiedenen Durchmesser in demselben Verhältniß größer wie die Drahtlänge zugenommen hat, die Erwärmung in den einzelnen Drahtstücken ist also von ihrer Länge unabhängig.

Am besten übersieht man dies, wenn man die wirkliche Temperaturerhöhung der Drähte im Thermometer berechnet; wie dies möglich ist, soll im folgenden Paragraphen gezeigt werden. Für die erste der eben besprochenen beiden Versuchsreihen erhält man diese Temperaturerhöhung:

$$T' = 0{,}3975,$$

für die andere

$$T' = 0{,}0592.$$

Diese Zahlen verhalten sich wie 1 zu 6,66; die 4ten Potenzen der entsprechenden Drahthalbmesser verhalten sich wie 1 zu 6,738. Die Erwärmungen verhalten sich also wirklich sehr nahe wie die 4ten Potenzen der Drahthalbmesser und sind von der Länge der Drahtstücke unabhängig.

39 **Einfluß der Unterbrechungen im Drathe auf die Erwärmung.** Wenn eine Unterbrechung im Schließungsdrahte stattfindet, so hat dies einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung. Waren die beiden Drahtenden der Unterbrechung zugespitzt, so fiel die Erwärmung stets geringer aus, als bei ununterbrochener Schließung, und zwar um so geringer, je weiter die Drahtspitzen von einander entfernt wurden. Es erklärt sich dies leicht dadurch, daß das Residuum der Batterie um so größer wird, je größer die Strecke ist, auf welche der Funke überspringen muß, daß also eine geringere Menge von Elektricität in diesem Falle den Draht durchströmt, als wenn keine Unterbrechung stattfindet.

Auffallende Erscheinungen ergaben sich, als Rieß an den Drahtenden der Unterbrechungsstelle zwei Messingscheiben von 10,4 Linien Durchmes-

ser anbrachte, die einander parallel standen. Die folgende Tabelle enthält einen Theil der von Rieß erhaltenen Resultate:

s	q	Die Scheiben		
		in Berührung.	0,1‴ entfernt.	1‴ entfernt.
		h	h	h
3	3	4,8	4,7	5,3
	4	7,7	7,0	7,0
	5	11,0	10,9	10,3
	6	15,6	14,5	13,7
4	4	6,0	6,0	7,3
	5	8,5	8,5	9,3
	6	12,2	11,9	12,0
	7	15,6	15,5	14,6

Für 0,1‴ Entfernung der Scheiben sind die Erwärmungen sämmtlich kleiner, als bei Berührung derselben, jedoch ist der Unterschied weit unbedeutender, als man nach der Größe des Residuums hätte erwarten sollen. Bei noch größerer Entfernung der Scheiben, für welche also ein noch größeres Residuum bleibt, finden wir aber auffallender Weise zum Theil Erwärmungen, welche selbst größer sind, als für den Fall der Berührung der Scheibe; für schwächere Ladungen ist die Erwärmung größer bei 1‴ Entfernung, als bei Berührung der Scheiben, bei stärkeren Ladungen giebt umgekehrt die Berührung der Scheiben eine stärkere Erwärmung.

Rieß hat dies sehr sinnreich auf folgende Weise wohl ganz richtig erklärt.

Bei Entfernung der Scheiben treten offenbar zwei Umstände ein, welche in entgegengesetztem Sinne auf die Erwärmung des Drahtes im Thermometer wirken. Der eine Umstand ist das schon erwähnte Zurückbleiben eines Theils der Elektricität, des Residuums, in der Batterie, wodurch offenbar die Erwärmung vermindert werden muß. Der andere Umstand, welcher dagegen die Erwärmung erhöht, bedarf etwas weitläufigerer Auseinandersetzung.

Wenn die Entfernung der beiden Scheiben kleiner ist als die Schlagweite der Batterie, so springt ein Funken über zwischen der Kugel der Batterie und der Kugel des Entladers, ein zweiter aber zwischen den beiden Scheiben.

Wenn die Entfernung der beiden Scheiben größer ist als die Schlagweite der Batterie, so kann nun zwischen den Scheiben ein Funken über-

ſpringen, wenn die Kugel des Ausladers ſchon mit der Kugel der Batterie in Berührung iſt. Das Ueberſchlagen des Funkens zwiſchen den Scheiben wird hier nur dadurch möglich, daß überhaupt, wie wir oben (S. 96) geſehen haben, die Schlagweite zwiſchen Scheiben größer iſt, als zwiſchen Kugeln.

Bei dem Ueberſchlagen der Funken zwiſchen Scheiben findet eine Verdichtung der Elektricität am Rande derſelben Statt, und dieſe Verdichtung hat höchſtwahrſcheinlich eine Beſchleunigung der Entladung zur Folge, die ſich durch eine Steigerung der Erwärmung merklich macht.

Dieſer letztere Umſtand, welcher die Erwärmung des Schließungsdrahtes erhöht, kann nur dann auftreten, wenn die Entfernung der Scheiben größer iſt, als die Schlagweite zwiſchen den Kugeln. Die Scheiben mögen eine beſtimmte Entfernung haben. Die Schlagweite zwiſchen den Kugeln ändert ſich mit der Stärke der Ladung, ſie iſt proportional dem Bruch $\frac{q}{s}$, für ſchwächere Ladungen iſt ſie klein, für ſtärkere Ladungen nimmt ſie zu, nur für die ſchwächeren Ladungen wird alſo die Entfernung der Scheiben größer ſeyn als die Schlagweite, nur bei ſchwächeren Ladungen kann alſo die erwähnte Beſchleunigung der Entladung die Erwärmung ſo ſtark vermehren, daß dadurch der entgegengeſetzte Einfluß des Reſiduums überwogen wird.

In der That ſehen wir in der vorigen Tabelle, daß h bei einer Entfernung der Scheiben von $1'''$ nur für $s = 3$ und $q = 3$; $s = 4$ und $q = 4$; $s = 4$ und $q = 5$ größer iſt, als h für den Fall der Berührung der Scheiben. In allen dieſen Fällen iſt $\frac{q}{s}$ nicht größer als 1,25. Für Ladungen, die ſo ſtark ſind, daß $\frac{q}{s}$ größer wird als 1,25, ſind die Erwärmungen der letzten Columne ſämmtlich kleiner, als die entſprechenden Erwärmungen bei Berührung der Scheiben.

Iſt die Entfernung der Scheiben noch größer, als die hier mögliche Schlagweite, ſo tritt natürlich gar keine Entladung ein.

Aehnliches ergab ſich, als ſtatt der Scheiben kleine Kugeln angewandt wurden; die Schlagweite zwiſchen den kleinen Kugeln iſt ein wenig größer, als die Schlagweite zwiſchen den größern Kugeln des Ausladers und der Batterie, daher im günſtigen Fall die Erwärmung der für eine Entfernung der kleinen Kugeln von $1'''$ nur unbedeutend höher ausfiel, als bei Berührung derſelben.

40 **Erwärmung bei erſchwerter Entladung.** Wenn an der Unterbrechungsſtelle ein dünner Iſolator eingeſchaltet wird, den der Entladungsſchlag durchbrechen kann, ſo fällt die Erwärmung um ſo geringer aus,

je größer der zu überwindende Widerstand ist, wie folgende Versuchsreihe zeigt.

Die Drahtenden der Unterbrechungsstelle waren mit kleinen Kugeln (5,7 und 4,4 Linien Durchmesser) versehen; es ergab sich für $s = 5$ und $q = 8$; Entfernung der Kugeln 0,2 Linien:

		Erwärmung.
Zwischen den Kugeln:	Luft	15,4
	1 Kartenblatt . .	12,0
	2 Kartenblätter. .	8,8
	Glimmerblatt . .	4,9.

Aehnliches ergab sich, als statt der Kugeln Metallscheiben oder Spitzen die Unterbrechungsstelle begränzten.

Die elektrische Entladung bewirkt also eine um so geringere Erwärmung im Schließungsbogen, je bedeutender das Hinderniß war, welches überwunden werden mußte, bevor die Entladung eintreten konnte.

Es ist hier kein Hinderniß vorhanden, das, wie bei Einschaltung eines langen Leiters in den Schließungsbogen auf die Entladung während der ganzen Dauer derselben verzögernd einwirkt, sondern ein Hinderniß, das die Entladung ganz unmöglich macht, so lange es besteht.

Die Verminderung der Erwärmung ist immer viel bedeutender, als daß man sie dem geringen Residuum zuschreiben könnte; wir müssen demnach aus obigen Versuchen den Schluß ziehen, daß ein Hinderniß, welches an irgend einer Stelle des Schließungsbogens eingeschaltet, vom Entladungsschlag durchbrochen wird, die Dauer der Entladung durch den ganzen übrigen Schließungsbogen vergrößert.

Bedient man sich zum Durchbohren von Glimmerblättern stets einer möglichst geringen Anhäufung von Elektricität, so gelingt es selten, den Glimmer an der Stelle zu durchbohren, wo er gerade den Schließungsdraht unterbricht; fast immer geht die Elektricität auf der Glimmerplatte eine längere Strecke fort und durchbohrt es an einer Stelle, die schon ersichtlich (durch Spaltung) eine geringere Continuität hat. Ist die Ansatzstelle der Leitungsdrähte nicht allzuweit vom Rande des Glimmerblattes entfernt, so findet die Entladung über den Rand hin Statt. Die Erwärmung im Thermometer fällt um so geringer aus, je größer der Weg ist, den die Elektricität auf der Oberfläche des Glimmers zu durchlaufen hat.

Die Spuren, welche die Elektricität auf das Glimmerblatt zurückläßt, sind sehr regelmäßig und zierlich. Rieß hat sie, so wie die entsprechenden Spuren auf Glasröhren, untersucht.

Spuren, welche die Elektricität auf Glas und Glimmer zurückläßt. 41 Rieß brachte eine Glasplatte, 0,37‴ dick, sorgfältig gerei-

nigt und erwärmt, ſo daß ſie ſich am Elektrometer nach allen Richtungen als vollkommen iſolirend erwies, zwiſchen die Spitzen des Schließungsdrahtes, aus welchem das Thermometer entfernt worden war. Die Elektricitätsmenge 15 in 4 Flaſchen geſammelt, entlud ſich über den Rand der Tafel, welche $15\frac{1}{2}'''$ von der Anſatzſtelle der Spitzen entfernt war, und hinterließ auf beiden Oberflächen Spuren von der Anſatzſtelle bis zum Rande.

Dieſe Spuren ſind einfarbig matt, ſie knirſchen bei der Berührung mit einem glatten Körper, und haben unter der Lupe ganz das Anſehen des mit grobem Sande geritzten Glaſes. Prüft man die Tafel am Elektrometer, indem man die Anſatzſtelle zwiſchen den Fingern faßt, ſo ſieht man, daß das Glas in jenen Streifen ſowohl, wie an vielen nicht markirten Stellen, leitend geworden iſt. Bei Behauchung der Tafel werden alle leitenden Stellen ſichtbar, indem ſie unbenetzt bleiben und mehr oder weniger zahlreiche Veräſtelungen bilden.

Nachdem die Glastafel mit Salpeterſäure abgewaſchen und wieder getrocknet worden war, zeigten ſich jene Streifen immer noch leitend.

Ganz Aehnliches ergab ſich bei andern Glasplatten.

Beim Glimmer iſt das Anſehen der elektriſchen Spuren ganz anders. Von der Anſatzſtelle geht auf beiden Oberflächen continuirlich in gleicher Breite ein geſchlängelter Streifen bis zur Durchbohrungsſtelle, der im durchfallenden Lichte hellgrau gefärbt iſt, im ſchief auffallenden Lichte aber als ein zierlich gefärbtes Band erſcheint, welches von zwei ſcharf gezeichneten dunklen Linien eingefaßt iſt, auf welche eine helle glänzende Franſe folgt; der innere Theil des Bandes zwiſchen den Franſen zeigt verwiſchte Zonen von gelber, blauer, rother und grüner Färbung.

Die Glimmerblätter, welche zu dieſem Verſuche angewandt worden waren, zeigten ſich nach wie vor als gute Iſolatoren, obgleich ſie beim Anhauchen mit unzähligen netzförmigen Verzweigungen bedeckt erſcheinen, die nicht benetzt werden, und welche die Stellen angeben, wo die Elektricität die Oberfläche berührt hat.

Weder in Hinſicht auf die Farbenſtreifen, noch auf die netzförmigen Figuren fand zwiſchen den beiden Oberflächen der Glimmertafel ein weſentlicher Unterſchied Statt.

Bei dem Glaſe ſcheint die Elektricität nur ſprungweiſe in die Maſſe einzudringen und daſelbſt das Kali auszuſcheiden, worauf auch der Umſtand hindeutet, daß die verletzten Stellen nach einiger Zeit ſichtbarer werden, als gleich nach dem Verſuch.

Wird ein Glimmerblatt mit Oel beſtrichen, ſo wird es durch eine Entladung, welche außerdem die Farbſtreifen hervorgebracht haben würde, an der Anſatzſtelle durchbohrt. Es fand ſich dann ein unregelmäßiges Loch

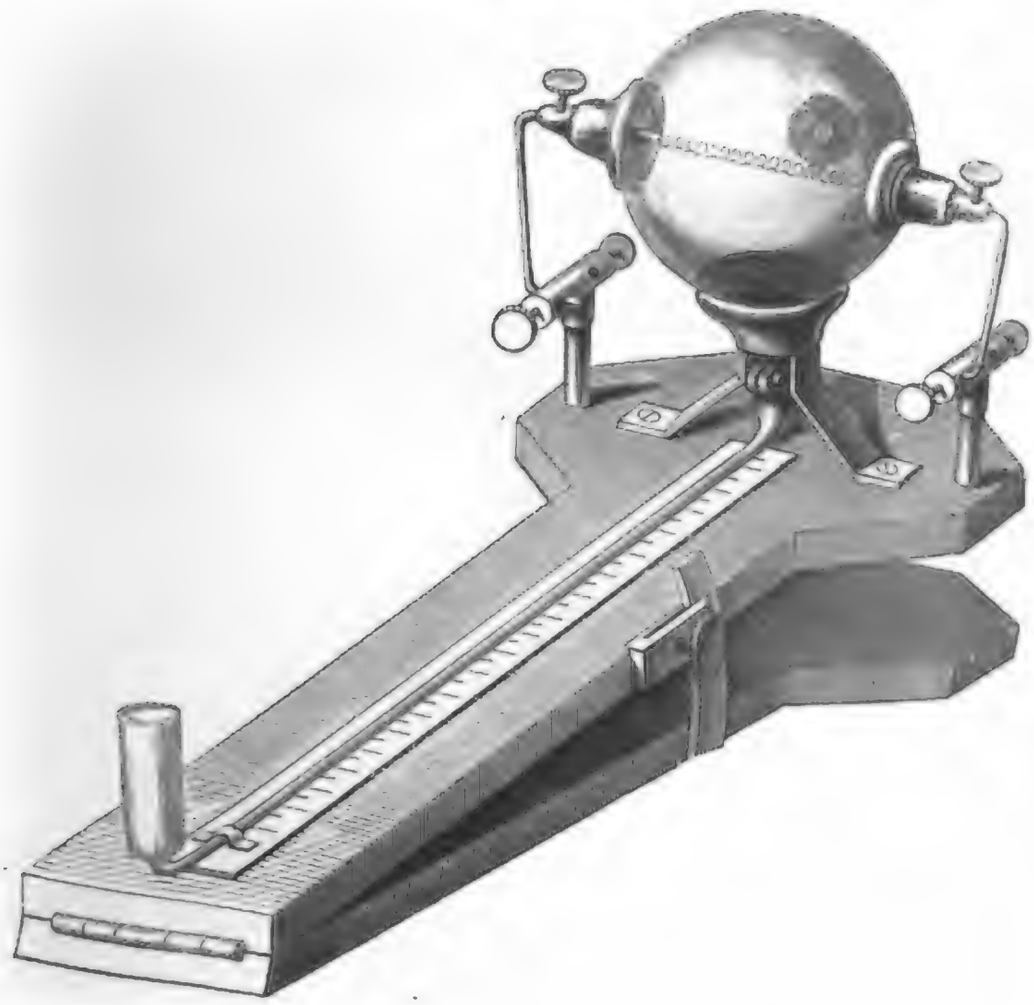
mit verbrannten Rändern und um dasselbe in geringer Ausdehnung eine Aufspaltung des Glimmers.

Durch behutsame Verringerung der elektrischen Anhäufung erhielt Rieß noch mehrere Male trotz der Oelbedeckung Entladung ohne Durchbohrung und dann Farbstreifen in ziemlicher Länge und Ausbildung nach dem Rande des Blattes oder einer früher durchbohrten Stelle zu, was darauf hinzudeuten scheint, daß der Glimmer in der Richtung des Blätterdurchganges die Elektricität besser leitet als rechtwinklig auf dieselbe.

Im Allgemeinen sind, wie bemerkt, die elektrischen Spuren auf Glas und Glimmer durchaus unähnlich, es giebt jedoch Glassorten, welche an der Oberfläche die Elektricität ziemlich gut leiten, auf denen sich ähnliche Farbstreifen erzeugen lassen, wie auf den Glimmer.

Das Luftthermometer. Das Luftthermometer, welches Rieß zu 42
seinen Versuchen anwandte, ist Fig. 52 nach einem von Kleiner in Berlin verfertigten Exemplare abgebildet.

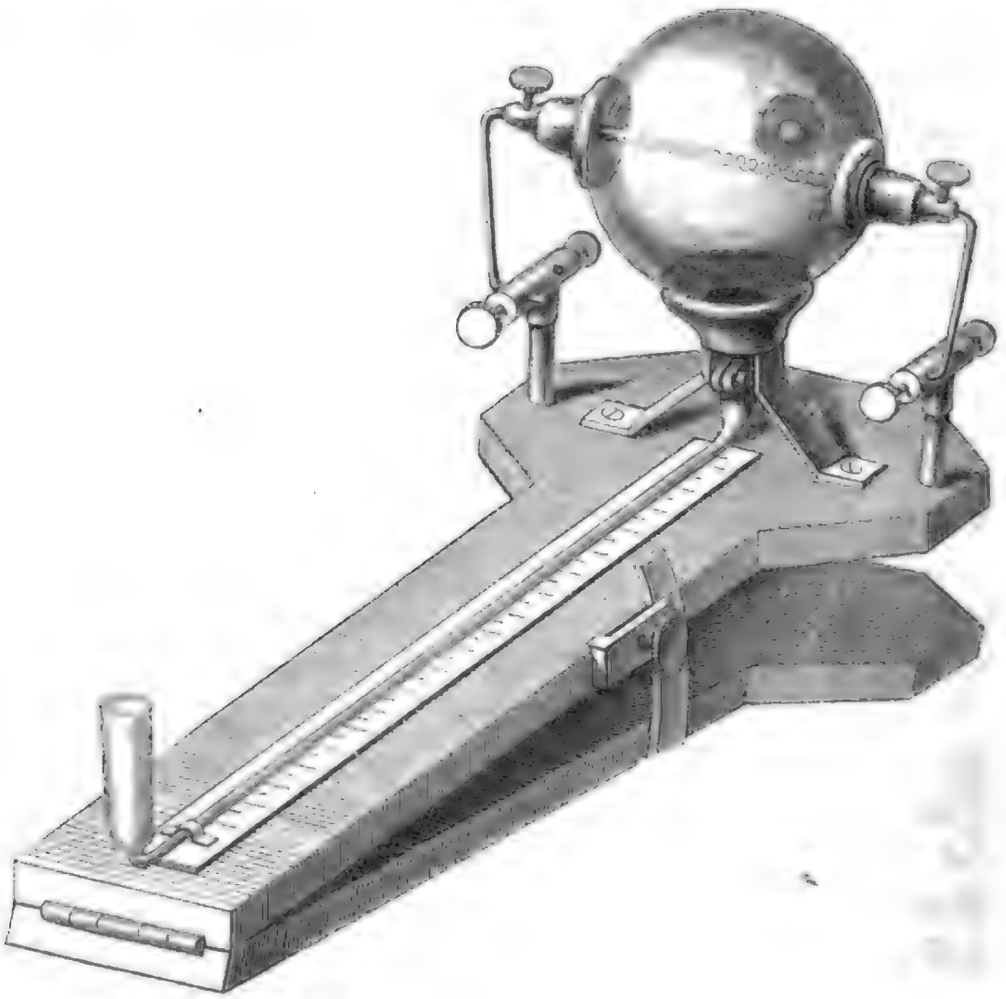
Fig. 52.



Rieß giebt eine Beſchreibung ſeines Luftthermometers an mehreren Stellen ſeiner Abhandlungen und in Dove's Repertorium. Nirgends aber iſt die Beſchreibung ganz klar und hinlänglich durch Figuren erläutert. Es wäre in der That zu wünſchen, daß die Autoren beſſere Zeichnungen ihrer Apparate gäben, wodurch ſeitenlange und doch ungenügende Beſchreibungen, die ohne Noth des Leſers Zeit rauben, vermieden würden.

Fig. 53 ſtellt das Inſtrument in $^1/_4$ der natürlichen Größe dar. Die Kugel, welche ungefähr 3 Zoll Durchmeſſer hat, iſt an drei Stellen durch-

Fig. 53.



bohrt. Die Oeffnungen bei *a* und *b* ſtehen einander diametral gegenüber, und ſind mit durchbohrten Metallfaſſungen verſehen, zwiſchen welchen der Platindraht ausgeſpannt wird; die dritte Oeffnung *c* iſt ebenfalls mit einer Metallfaſſung verſehen, deren Oeffnung durch einen Stöpſel verſchloſſen iſt, ſo daß man vor dem Verſuche die Luft im Innern der Kugel mit dem Aeußern ins Gleichgewicht ſetzen kann.

Wie der Draht ausgeſpannt wird, kann man Fig. 54 und Fig. 55 ſe-

hen. Fig. 54 stellt einen Durchschnitt der Kugel in ½ der natürlichen Größe dar, welche durch die Mitte der beiden Oeffnungen bei *a* und *b*

Fig. 54.

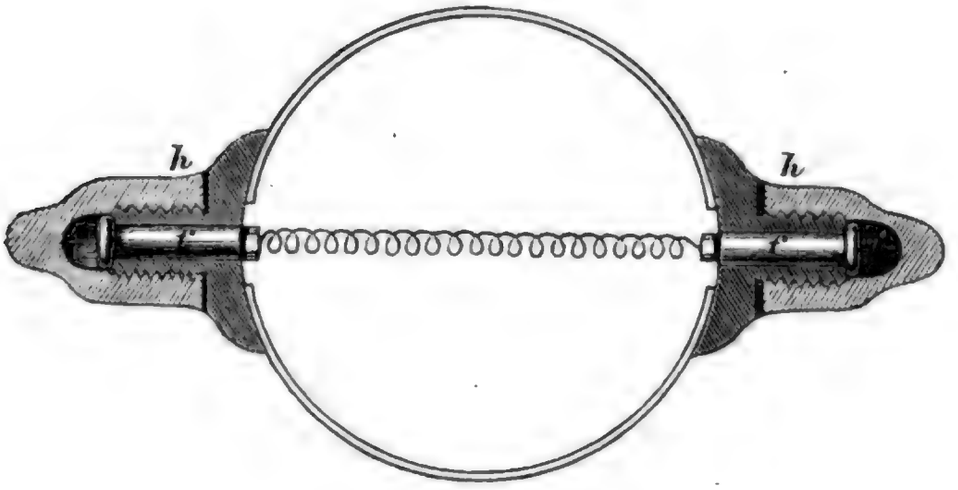


Fig. 55.

geht. Die hier aufgekitteten Fassungen haben eine ungefähr 2‴ weite Oeffnung, in welche der Cylinder *f* hineinpaßt. Dieser Cylinder hat auf der nach dem Innern der Kugel gerichteten Seite eine konische Vertiefung, in welche ein eingeschlitzter Metallkegel *g* eingeschraubt wird, wie man dies Fig. 55 deutlicher sieht. In den Schlitz ist der Platindraht eingesteckt, welcher durch tieferes Einschrauben des Kegels festgeklemmt wird. Diese Vorrichtung nennt Rieß die Kegelklemmen.

Will man den Draht herausnehmen, um einen andern einzuziehen, so verfährt man folgendermaaßen. Zunächst werden die Hülsen *h* abgeschraubt. Der Cylinder *f* der einen Seite ist nach Außen hin durch eine Schraube verlängert, an welche sich eine zweite von noch engerem Durchmesser ansetzt. Auf diese letztere wird nun, wie aus Fig. 55 deutlich wird, ein Stäbchen aufgeschraubt, dessen Länge größer ist, als der Durchmesser der Kugel sammt den angekitteten Metallfassungen; ist dies geschehen, so kann man die Metallplatte *x*, welche es verhindert, daß der Cylinder *f* in die Kugel hineingezogen wird, losschrauben und auf das Stäbchen schieben. Man kann nun leicht, den Cylinder *f* auf der linken Seite der Kugel herausziehend und das angeschraubte Stäbchen von der andern Seite nachschiebend, den Draht herausnehmen und nach Belieben einen andern zwischen die Kegelklemmen einsetzen. Um ihn wieder einzuziehen, steckt man zuerst das Stäbchen durch die Kugel, zieht mit Hülfe desselben denjenigen

Cylinder *f*, an welchem es angeſchraubt iſt, durch dieſelbe durch, ſchraubt die Platte *x* auf und entfernt das Stäbchen. Nun können auch die Hülſen *h* wieder aufgeſchraubt werden.

Die von Kleiner verfertigten elektriſchen Luftthermometer ſind ſehr ſchön und gut gearbeitet, aber der Preis derſelben (25 Thaler und 2 Thaler Verpackungskoſten) iſt hoch. Es wäre deshalb ſehr zu wünſchen, daß dem Inſtrumente eine einfachere Conſtruction gegeben würde, welche es weniger koſtſpielig machte.

Die Neigung der Röhre des Luftthermometers kann, wie man Fig. 53 ſieht, beliebig verändert und dadurch die Empfindlichkeit des Inſtrumentes nach Belieben erhöht werden. Rieß wandte in der Regel eine Neigung von $6\frac{1}{2}$ gegen die Horizontale an.

Die Scala an der Röhre iſt in Linien getheilt. Alles Weitere iſt aus der Figur deutlich.

Der Inhalt der Kugel des Inſtrumentes, welches Rieß gebrauchte, war 40766 Kubik-Linien. Die Weite der Röhre war von der Art, daß wenn man den Röhreninhalt zwiſchen zwei Theilſtrichen als Raumeinheit nimmt, die Kugel 320307 ſolcher Raumeinheiten enthält.

43 **Theorie des Inſtrumentes.** Wenn die Luft in der Kugel erwärmt wird, ſo wird die Flüſſigkeitsſäule deprimirt; dadurch wird einestheils die Spannkraft der Luft, anderentheils das Volumen derſelben vermehrt.

Nun iſt aber die Vermehrung der Spannkraft ſowohl, als auch die Volumenvergrößerung der Temperaturerhöhung proportional, folglich auch die Summe beider Wirkungen; d. h. die Depreſſion iſt der Temperaturerhöhung proportional.

Wir wollen nun zunächſt berechnen, wie groß die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel iſt, welche eine Depreſſion von 1‴ bewirkt.

Nehmen wir an, die Temperatur der Luft ſey 15° C., der Barometerſtand ſey 336‴.

Die Flüſſigkeit in der Röhre war 15mal leichter als Queckſilber; ein Barometer von dieſer Flüſſigkeit würde alſo eine Höhe von $15 \times 336 = 5040‴$ haben.

Unſere Röhre ſteht aber nicht vertikal, ſie iſt 6,5° gegen den Horizont geneigt. Die Flüſſigkeitsſäule in einer ſo geneigten Röhre müßte alſo eine Länge von $\frac{5040}{sin.\ 6{,}5^0} = \frac{5040}{0{,}113} = 44600‴$ haben, um den Luftdruck das Gleichgewicht zu halten, wir können alſo die 44600‴ als das Maaß der Spannkraft der Luft in der Kugel betrachten.

Wird nun die 15° warme Luft um 1° erwärmt, ſo dehnt ſie ſich aus im Verhältniß von

$$(1 + 15 \,.\, 0{,}00365) \text{ zu } (1 + 16 \,.\, 0{,}00365)$$
$$1{,}05475 : 1{,}05840$$
$$1 : 1{,}00346$$

die Luft von 15° dehnt sich also bei einer Temperaturerhöhung von 1° um 0,00346 ihres Volumens von 15° aus.

Wenn sich aber die Luft nicht ausdehnen kann, so wird ihre Spannung in demselben Verhältniß zunehmen, daraus ergiebt sich

$$1 : 1{,}00346 = 44600''' : 44754.$$

Eine Temperaturerhöhung von 1° bringt also eine Depression von 154 Linien in der Röhre hervor, angenommen, daß dabei keine Volumenvergrößerung stattgefunden hätte, eine Depression von 1''' entspricht demnach einer Temperaturerhöhung von $\frac{1}{154} = 0{,}00649°$, wenn nur die Vermehrung der Spannkraft in Betracht gezogen wird.

Der Inhalt der Kugel beträgt 320307 Einheiten der Röhrentheilung. Eine Temperaturerhöhung von 15 auf 16° würde die Luft in der Kugel, wie leicht zu berechnen, um 1108 solcher Einheiten ausdehnen, wenn sich die Luft frei ausdehnen könnte, eine Volumenvermehrung von 1''' in der Röhre entspricht also einer Temperaturerhöhung von $\frac{1}{1108} = 0{,}0009°$.

Eine Depression von 1''' entspricht also, wenn man die Vermehrung der Spannung und des Volumens berücksichtigt, einer Temperaturerhöhung von

$$0{,}00649 + 0{,}0009 = 0{,}0074°.$$

Von der Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel kann man auf die Temperaturerhöhung des Drahtes schließen. Es sey t die Temperatur der Luft und des Drahtes vor der Entladung, T die Temperatur, auf welche der Draht durch den Entladungsschlag steigt; t' die Temperaturerhöhung, welche der Draht durch Abgabe seines Wärmeüberschusses an der Luft abgiebt, so ist

$$M\,C\,(T - t') = m\,c\,(t' - t),$$

wenn M die Masse und C die specifische Wärme des Platindrahtes, m die Masse und c die specifische Wärme der Luft in der Kugel bezeichnen. Daraus ergiebt sich

$$T - t' = (t' - t)\,\frac{m\,c + M\,C}{M\,C}$$

oder

$$T' = (t' - t)\left(1 + \frac{m\,c}{M\,C}\right) = 0{,}0074\;h\left(1 + \frac{m\,c}{M\,C}\right)$$

wenn man mit T' die Temperaturerhöhung des Drahtes bezeichnete. $t' - t$ ist die Temperaturerhöhung der Luft, welche sich nach dem obigen leicht aus der beobachteten Depression berechnen läßt.

Der Inhalt der Kugel iſt 40766 Kubiklinien; das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei 15° iſt 0,00114, die ſpecifiſche Wärme der Luft 0,188, wir haben demnach

$$T' = (0{,}0074 \,.\, h)\left(1 + \frac{40766 \,.\, 0{,}00114 \,.\, 0{,}188}{3{,}14 \,.\, l \,.\, r^2 \,.\, 21 \,.\, 0{,}031}\right),$$

wenn r den Halbmeſſer, l die Länge des Drahtes in der Kugel bezeichnet. 21 iſt das ſpecifiſche Gewicht, 0,0031 die ſpecifiſche Wärme des Platins.

Führt man die angedeuteten Multiplicationen aus, ſo kommt

$$T' = (0{,}0074\ h)\left(1 + \frac{8{,}737}{2{,}044 \,.\, l\, r^2}\right).$$

Nach dieſer Formel kann man jederzeit die Temperaturerhöhung T' des Drahtes berechnen, wenn die entſprechende Depreſſion h beobachtet, und die Dimenſionen des Platindrahtes bekannt ſind.

Für einen Draht, für welchen $r = 0{,}036'''$
$l = 59{,}7'''$
ergab ſich folgende Verſuchsreihe:

s	3	4	5
q	h	h	h
4	5,3	4,0	
5	7,1	6,0	5
6	10,2	8,2	6,8
7	12,8	10,7	8,4
8			11,0

Berechnet man für alle zuſammengehörige Werthe von s, h und q den Werth von n in der Gleichung

$$h = n \,.\, \frac{q^2}{s},$$

ſo erhält man als Mittelwerth für n den Werth 0,91. Für den Fall, daß $\frac{q^2}{s} = 1$, wäre $h = 0{,}91$, die entſprechende Temperaturerhöhung alſo $0{,}91 \,.\, 0{,}0074 = 0{,}006734$, die Temperaturerhöhung des Drahtes alſo

$$T' = 0{,}006734\ (1 + 55{,}24)$$
$$T' = 0{,}3787$$

Rieß hat für dieſen Fall aus ſeinen Formeln, die auf weniger elementarem Wege entwickelt ſind, bei einer Temperatur von 12,5° $T' = 0{,}3975$ erhalten, was unſerem Werthe faſt gleich iſt.

Der Quotient $\frac{mc}{MC}$ wird um ſo größer, je dünner und kürzer der

Draht, je kleiner also M wird. In den meisten Fällen, welche bei solchen Versuchen vorkommen, ist wie in obigem speciellen Fall M doch so klein, daß der Bruch $\frac{mc}{MC}$ bedeutend größer ist als 1.

Wir haben bei diesen Betrachtungen eine Temperatur von 15° angenommen. Wäre die Temperatur der Luft nicht 15° gewesen, sondern 0°, so wäre die Luft im Verhältniß von 1 zu 1,0547 dichter, also m in demselben Verhältniß größer geworden.

Von einer Lufttemperatur von 15° ausgehend, hatten wir oben gefunden, daß eine Depression von 1‴ einer Temperaturerhöhung von 0,0074° entspricht. Hätten wir eine Temperatur von 0° zum Ausgangspunkte genommen, so hätten wir gefunden, daß eine Depression von 1‴ einer Temperaturerhöhung von 0,0070° entspricht.

Wären also die Versuche bei 0° angestellt worden, so wäre eine Gleichung statt des Factors 0,0074 der Factor 0,0070, also ein Factor zu setzen, welcher im Verhältniß von 1,0571 kleiner ist; dagegen wäre m also der Werth des Ausdrucks in der Klammer (da ja 1 gegen $\frac{mc}{MC}$ sehr klein ist) im Verhältniß von 1 : 1,0547 größer geworden. Der eine Factor wäre also fast genau in demselben Verhältniß größer geworden, in welchem der andere abgenommen hat, der Werth von T' würde also fast ganz unverändert geblieben seyn, woraus hervorgeht, daß kleinere Schwankungen in der Temperatur der umgebenden Luft ganz unberücksichtigt bleiben können, daß sie also keine Correction des für 15° Lufttemperatur berechneten Werthes von T' nothwendig machen.

Zu demselben Resultat führt eine ähnliche Betrachtung auch in Beziehungen auf den Barometerstand, d. h. obgleich unsere Formel für einen Barometerstand von 336 Linien berechnet ist, so kann diese Formel doch auch für andere Barometerstände benutzt werden, weil die mittleren Schwankungen des Barometers keinen merklichen Einfluß auf den Werth von T' haben.

Einfluß der Länge des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demselben. 44 Wir haben oben gesehen, daß wenn derselbe Entladungsschlag, durch mehrere hinter einander in den Schließungsbogen eingeschaltete Drähte geht, daß alsdann die Erwärmung der einzelnen Drahtstücke von ihrer Länge unabhängig der 4ten Potenz ihrer Halbmesser umgekehrt proportional ist.

Sobald jedoch der Schließungsbogen durch Einschaltung neuer Drähte eine namhafte Verlängerung erfährt, so wird dadurch die Erwärmung in allen Theilen des Schließungsbogens vermindert.

Um den Einfluß der Verlängerung des Schließungsbogens zu untersu-

chen, ſchaltete Rieß mittelſt des Henley'ſchen Ausladers der Reihe nach verſchieden lange Stücke deſſelben Kupferdrahtes in den Schließungsbogen ein, während im Thermometer ſtets derſelbe Platindraht blieb. Mit jeder Einſchaltung wurde nun eine Verſuchsreihe in der Art gemacht, wie die auf Seite 103 angeführte. Wir wollen die Länge des eingeſchalteten Kupferdrahtes (welcher 0,29‴ dick war) mit λ bezeichnen.

für $\lambda = 0$ ergab ſich $h = 0{,}78\frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 9{,}6'$ » » $h = 0{,}69\frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 49{,}0$ » » $h = 0{,}48\frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 98{,}4$ » » $h = 0{,}34\frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 147{,}7$ » » $h = 0{,}27\frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 246{,}4$ » » $h = 0{,}21\frac{q^2}{s}$.

Wir ſehen aus dieſer Zuſammenſtellung, daß die Erwärmung mit zunehmender Länge des Einſchaltungsdrahtes, für gleiche Werthe von $\frac{q^2}{s}$ fortwährend abnimmt.

Die Werthe von h ſind offenbar den Factoren von $\frac{q^2}{s}$ proportional.

Für $\frac{q^2}{s} = 1$ beſteht zwiſchen h und λ folgende Beziehung

$$h = \frac{0{,}78}{1 + 0{,}013\ \lambda} \quad \ldots . 1)$$

Für $\lambda = 0$ giebt dieſe Gleichung $h = 0{,}78$; für $\lambda = 49$ giebt ſie $h = 0{,}476$; für $\lambda = 147{,}7$ giebt ſie 0,267 u. ſ. w., alſo lauter Werthe, die mit den oben mitgetheilten Beobachtungsreſultaten ſehr gut ſtimmen, ſo daß wir dieſe Gleichung wirklich für den Ausdruck der Beziehung zwiſchen h und λ nehmen können.

Dividiren wir Zähler und Nenner dieſer Gleichung mit 0,013, ſo kommt

$$h = \frac{59{,}98}{76{,}9 + \lambda}.$$

In dieſer Form finden wir die größte Aehnlichkeit mit dem Ohm'ſchen Geſetz. Der Entladungsſchlag hatte bei dieſen Verſuchen, außer der veränderlichen Länge λ des eingeſchalteten Kupferdrahtes, noch den übrigen

unveränderlichen Theil des Schließungsbogens, in welchem auch der Platindraht des Thermometers enthalten war, zu durchlaufen.

Jede Verlängerung des Schließungsbogens wirkt vermindernd auf die Temperaturerhöhung, und zwar ist die Temperaturerhöhung umgekehrt der Länge des Schließungsbogens proportional, wie sich aus jener Formel ergiebt, wenn wir annehmen daß der unveränderliche Theil des Schließungsbogens eben so wirkt, wie ein 76,9′ langes Stück Kupferdraht von der Dicke des Einschaltungsdrahtes.

Der obige Werth von h entspricht nur einem speciellen Fall; wir können allgemein setzen

$$h = \frac{\frac{a}{b}}{\frac{1}{b} + \lambda} \frac{q^2}{s} = \frac{a'}{L + \lambda},$$

wenn a' für $\frac{a}{b}$ und L für $\frac{1}{b}$ gesetzt wird. Für die Wärmeentwicklung gilt also hier dasselbe Gesetz wie für die magnetische Wirkung der galvanischen Kette.

L drückt hier offenbar die reducirte Länge des Schließungsbogens aus, d. h. es giebt an, wie lang ein Platindraht seyn müßte, welcher bei gleicher Dicke mit dem eingeschalteten, dessen Länge λ ist, denselben Verzögerungswerth giebt, wie der gesammte Schließungsbogen, mit Ausnahme des im Auslader befindlichen Platindrahtes, dessen Länge λ ist.

Diese letztere Umwandlung, wodurch das Rieß'sche Erwärmungsgesetz eine dem Ohm'schen Gesetze ganz gleiche Form erhält, hat Rieß mit seiner Formel nicht vorgenommen. Nur im Eingang seiner Abhandlung hat er im Allgemeinen darauf aufmerksam gemacht, daß eine Uebereinstimmung seiner Resultate mit den magnetischen Wirkungen der galvanischen Kette nicht zu übersehen sey, ohne sie jedoch weiter hervorzuheben und nachzuweisen, ja er hat in seiner Darstellung, wie er selbst sagt, absichtlich Bezeichnungen vermieden, welche an den Galvanismus erinnern könnten, weil die Elektricitätslehre nicht an theoretischen Betrachtungen und Analogien, wohl aber an sicher begründeten Versuchen Mangel hat.

Die Gleichung 1 auf allgemeine Form gebracht, heißt

$$h = \frac{a}{1 + b\,\lambda}$$

woran Rieß folgende Betrachtung anschließt.

Durch Verlängerung des Schließungsbogens wird die Erwärmung vermindert. Schaltet man aber nun statt eines Metalldrahtes ein Stück feuchten Holzes, oder eine mit Wasser gefüllte Glasröhre als Zwischenleitung ein, so sind die stärksten Ladungen der Batterie nicht mehr im

Stande, auch nur eine Senkung von 0,1‴ zu bewirken. Hier aber ist die Entladung der Batterie nicht mehr momentan, wie bei der Einschaltung auch des längsten Kupferdrahtes, sie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus läßt sich schließen, daß wir auch einen Unterschied in der Entladungszeit beobachten würden, je nachdem ein kurzer oder ein langer Kupferdraht eingeschaltet ist, wenn wir mit schärferen Sinnen begabt wären. Die Erwärmung des Platindrahtes im Thermometer scheint mit der Zeit, welche die Entladung dauert, im einfachen umgekehrten Verhältniß zu stehen. Ist eine Erwärmung a beobachtet worden, indem eine gewisse Elektricitätsmenge von gewisser Dichtigkeit in der Zeit 1 entladen wurde, so wird die Entladungszeit um $b\lambda$ vergrößert, wenn ein Draht von der Länge λ eingeschaltet wird, und die Erwärmung ist nun

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda}$$

oder die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung der elektrischen Batterie ist der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; die Dauer der Entladung wird durch Verlängerung des Schließungsdrahtes um eine Zeit verzögert, welche der zugesetzten Drahtlänge proportional ist.

45 **Einfluß der Dicke des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demselben.** Um den Einfluß der Dicke des Schließungsbogens auf die Erwärmung zu untersuchen, ließ Rieß den eingeschalteten Kupferdraht fort, welchen er bei den vorigen Versuchen angewandt hatte, und brachte statt desselben successiv Platindrähte von verschiedenen Dimensionen zwischen den Armen des Henley'schen Ausladers an. Es ergab sich nun, daß die Erwärmung im Thermometer desto geringer ausfiel, je dünner bei gleicher Länge der eingeschaltete Platindraht war. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate passen in die Formel

$$T = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda}{\varrho^2}} \frac{q^2}{s},$$

in welcher ϱ den Halbmesser des Drahtes bezeichnet. Dies heißt in Worten ausgedrückt:

Die Erwärmung eines Drahtes durch elektrische Entladung ist der Dauer dieser Entladung umgekehrt proportional; durch Einschaltung von homogenen Drähten wird die Entladung um eine Zeit verzögert, welche der Länge des eingeschalteten Drahtes direct, seinem Querschnitte umgekehrt proportional ist.

46 **Erwärmung im Stamme eines verzweigten Schließungsdrahtes.** Hat man ermittelt, welche Verzögerung der Entladung ein in

den Schließungsbogen der Batterie eingeſchalteten Draht α hervorbringt, hat man auf gleiche Weiſe den Verzögerungswerth eines zweiten Drahtes β ermittelt, ſo kann nun gefragt werden, welches die Verzögerung ſey, welche beide Drähte gleichzeitig nebeneinander als Zweige in den Schließungsbogen eingeſchaltet, hervorbringen.

Die beiſtehenden ſchematiſchen Figuren mögen dazu dienen, deutlicher zu machen, wie dieſe Frage zu verſtehen ſey.

In Fig. 56 ſtelle b die Batterie, t das Luftthermometer, α ein in den Schließungsbogen eingeſchaltetes Drahtſtück dar.

Fig. 56.

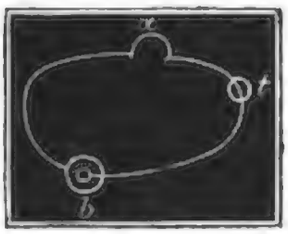


Fig. 57.

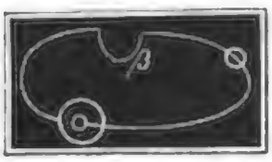
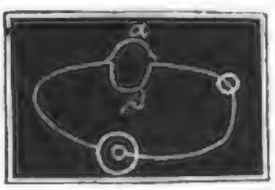


Fig. 58.



In den beiden folgenden Figuren bezeichnen b und t dieſelben Dinge, in Fig. 57 iſt aber ſtatt α der Draht β, und in Fig. 58 ſind beide Drahtſtücken neben einander ſo eingeſchaltet, daß ſie eine Verzweigung bilden.

Wenn man nun für eine beſtimmte Ladung der Batterie die Erwärmung des Luftthermometers bei den Combinationen, Fig. 56 und Fig. 57 kommt, ſo fragt ſich, welches iſt für dieſelbe Ladung die Erwärmung des Luftthermometers bei der Combination Fig. 58.

Rieß hat dieſe Frage im 63ſten Bande, Seite 486 von Poggendorff's Annalen behandelt.

Wie wir ſoeben geſehen haben, läßt ſich die Erwärmung des Luftthermometers für die Einheit der Ladung durch die Formel

$$h = \frac{a}{1 + z}$$

darſtellen, wenn a die Erwärmung anzeigt, welche ſtattfindet, wenn nur die unveränderlich im Schließungsbogen bleibenden Stücke die Batterie ſchließen, z aber die Zeit bedeutet, um welche die Entladung verzögert wird, wenn noch irgend ein Drahtſtück in den Schließungsbogen eingeſchaltet wird, vorausgeſetzt, daß man die Zeit zur Einheit nimmt, in welcher die Batterie entladen wird, wenn das fragliche Drahtſtück aus dem Schließungsbogen bleibt.

Hat man durch Verſuche den Verzögerungswerth z für einen, in den Schließungsbogen eingeſchalteten Draht α in derſelben Weiſe, alsdann den Verzögerungswerth z' für einen zweiten Draht β ermittelt, ſo kann man durch theoretiſche Betrachtungen ableiten, welches der Verzögerungswerth

für beide, auf die in Fig. 58 angedeutete Weiſe, nebeneinander eigeſchaltete Draht ſey.

Der eine Draht α entladet die Einheit der Elektricitätsmenge in der Zeit z; in der Zeiteinheit iſt er alſo im Stande, die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z}$ zu entladen.

Eben ſo ergiebt ſich, daß der zweite Draht β in der Zeiteinheit die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z'}$ entladen kann.

In der Zeiteinheit entladen alſo beide Drähte α und β nebeneinander (Fig. 58), in den Schließungsbogen eingeſchaltet, die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}$.

Daraus ergiebt ſich nun leicht, daß bei der Combination Fig. 58 die beiden Drähte die Elektricitätsmenge 1 in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladen.

Wenn alſo

$$h = \frac{a}{1 + z} \frac{q^2}{s}$$

die Erwärmung des Luftthermometers iſt, wenn ſich der Draht α im Schließungsbogen befindet; wenn ferner

$$h' = \frac{a}{1 + z'} \frac{q^2}{s}$$

für dieſelbe Ladung die Erwärmung des Luftthermometers iſt, wenn der Draht β in den Schließungsbogen eingeſchaltet iſt, ſo iſt

$$h'' = \frac{a}{1 + \frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}} \frac{q^2}{s}$$

die Erwärmung, wenn die Drähte α und β gleichzeitig in der Fig. 58 angedeuteten Weiſe eine Verzweigung bildend, eingeſchaltet ſind.

Nach derſelben Schlußweiſe ergiebt ſich auch, daß wenn die Verzögerungswerthe dreier Drähte z, z' und z'' ſind, daß alsdann, wenn dieſe drei Drähte neben einander in den Schließungsbogen eingeſchaltet worden, $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'} + \frac{1}{z''}}$, der Verzögerungswerth der ganzen Verzweigung iſt.

Die Richtigkeit dieſer Schlußfolgerungen hat Rieß durch zahlreiche Verſuche bewieſen, von denen ich hier einige anführe.

Die Batterie, die zu allen diesen Versuchen angewandt wurde, bestand aus 4 Flaschen von 2,6 Quadratfuß innerer Belegung. Es wurde nun zwischen die constanten Theile des Schließungsbogens der Reihe nach verschieden lange Stücke von stets gleich dickem Platindraht eingeschaltet, durch jeden Draht verschiedene Elektricitätsmengen entladen, und so ergab sich aus der Combination dieser Versuche für das a der obigen Gleichung der Werth 1,232. Auf welche Weise a aus der Combination mehrerer solcher Versuche bestimmt werden kann, ergiebt sich aus den Entwickelungen auf Seite 104.

Es wurde nun ein Platindraht α eingeschaltet (es ist hier nicht nöthig, seine Dimensionen weiter zu kennen) und verschiedene Elektricitätsmengen entladen, aus welchen Versuchen sich für die Einheit der Ladung $h = 0{,}81$ ergab, es ist also

$$0{,}81 = \frac{1{,}232}{1 + z}$$

und daraus $z = 0{,}5209$ und $\frac{1}{z} = 1{,}919$; statt α wurde der Platindraht β eingeschaltet, und es ergab sich für die Einheit der Ladung $h = 0{,}94$, mithin $z' = 0{,}3107$ und $\frac{1}{z'} = 3{,}219$.

Sind die Drähte α und β gleichzeitig als zwei Zweige in den Schließungsbogen eingeschaltet, so muß nach unserer Betrachtung die Erwärmung des in den Stamm des Schließungsbogens eigeschalteten Thermometers seyn

$$h = \frac{1{,}231}{1 + \frac{1}{1{,}919 + 3{,}219}} = \frac{1{,}231}{1 + \frac{1}{5{,}138}} = 1{,}031$$

Der Versuch gab $h = 1{,}03$.

Bei der Schließung durch einen Zweig α' ergab sich

$$h = 0{,}386 \text{ also } \frac{1}{z} = 0{,}4563.$$

Bei der Schließung durch einen Zweig β'

$$h = 0{,}519 \text{ also } \frac{1}{z'} = 0{,}7279.$$

Bei der Schließung durch einen Zweig γ' (Eisendraht)

$$h = 0{,}449 \text{ also } \frac{1}{z''} = 0{,}5734$$

es ist demnach

$$\frac{1}{z} + \frac{1}{z} + \frac{1}{z''} = 1{,}758,$$

es ergiebt sich also, wenn der Bogen durch die drei Zweige gleichzeitig geschlossen wird, für die Einheit der Ladung als Erwärmung des Thermometers

$$h = \frac{1{,}232}{1 + \frac{1}{1{,}758}} = 0{,}7851.$$

Die Versuche gaben für diese Combination

$$h = 0{,}784.$$

Weitere Versuchsreihen gaben eine gleiche Uebereinstimmung der berechneten und beobachteten Werthe.

47 **Erwärmung in einem Zweige des Schließungsbogens.** Wir haben gesehen, daß durch zwei Zweige des Schließungsbogens die Elektricitätsmenge q in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladen wird, wenn z und z' die Zeit bezeichnet, in welcher jeder der beiden Zweige für sich allein dieselbe Elektricitätsmenge zu entladen im Stande ist. In der Zeiteinheit kann der erste Zweig die Elektricitätsmenge $\frac{q}{z}$ entladen, folglich ist die Elektricitätsmenge, welche den ersten Zweig in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladet, gleich

$\frac{q}{z\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)}$; eben so entladet der zweite Zweig in derselben Zeit die Elektricitätsmenge $\frac{q}{z'\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)}$.

Demnach ist die Erwärmung im ersten Zweig

$$h_n = \frac{a}{1 + \frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}} \cdot \frac{q^2}{s \cdot z^2 \left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)^2}$$

$$= \frac{a}{\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)\left(1 + \frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right) z^2} \cdot \frac{q^2}{s}.$$

Rieß fand auch diese Formel durch seine Versuche bestätigt.

Um in die Zweige ein Luftthermometer einschalten zu können, ohne sonst etwas am Schließungsbogen zu ändern, befanden sich in den Zweigen Platindrähte mit denselben Verbindungsstücken, und von gleicher Länge und Dicke wie der Platindraht im Thermometer, so daß man diese Draht-

stücke aus dem Zweige wegnehmen, und statt dessen den Thermometer einschalten konnte; die Stelle im Stamm, wo vorher der Thermometer sich befand, wurde dann durch eine gleichwerthige Drahtverbindung ausgefüllt.

Bei allen diesen Versuchen waren die Zweige nur sehr kurz, und nur für diesen Fall finden obige Formeln eine Anwendung. Wenn die Zweige länger sind, so kann jeder in dem andern einen gleichgerichteten Nebenstrom induciren. Wenn nun aber der Hauptstrom in α einen Nebenstrom in β inducirt, so ist α gleichsam die Schließung des Nebendrahts β, der in β erregte Nebenstrom wird also α in einer Richtung durchlaufen, welche der Richtung des Hauptstromes entgegengesetzt ist; dazu kommt noch der durch β in α erregte Nebenstrom. Durch diese Nebenströme kann aber die Wirkung des Hauptstromes nicht allein in den Zweigen, sondern auch im Stamme modificirt werden. Diese sehr complicirten Störungen des Entladungsstromes in einem verzweigten Drahte mögten aber wohl, wie Rieß richtig bemerkt, schwerlich unter ein allgemein gültiges Gesetz zu bringen seyn.

Elektrische Verzögerungskraft der Metalle. An die eben besprochenen Untersuchungen schließt sich eine höchst interessante und wichtige Arbeit von Rieß über die elektrische Verzögerungskraft der Metalle an. 48

Wir haben gesehen, daß ein Draht mittelst des Henley'schen Ausladers in den Schließungsbogen gebracht, die Entladung verzögert und daß in Folge dieser Verzögerung die Depression im Luftthermometer abnimmt.

Es bleibe nun der Draht im Thermometer unverändert derselbe, man schalte aber einmal einen Platindraht, dann einen Kupferdraht von gleicher Länge und Dicke in den Schließungsbogen ein, so wird man keine gleiche Depression erhalten, woraus hervorgeht, daß diese Drähte, obgleich sie gleiche Dimensionen haben, die elektrische Entladung doch nicht in gleichem Maaße verzögern, daß also die Verzögerungskraft der beiden Metalle specifisch verschieden ist.

Bei gleicher Länge und Dicke wird man bei dem eingeschalteten Kupferdraht eine größere Depression erhalten, als für den Platindraht, der Kupferdraht verzögert also die elektrische Entladung weniger als der Platindraht.

Für die Betrachtung und Rechnung wäre nun Folgendes die einfachste Methode, die Verzögerungskraft verschiedener Metalle zu vergleichen. Man spanne zunächst einen Platindraht in den Henley'schen Auslader und ermittle die Depression, welche eine bestimmte Ladung der Batterie hervorbringt. Nun spanne man den andern Draht statt des Platindrahtes ein (der jedoch mit dem Platindraht gleiche Dicke haben muß) und verlängere oder verkürze ihn so lange, bis dieselbe Ladung der Batterie

denſelben Effect hervorbringt, wie bei dem zuvor angewandten Kupferdraht; die verzögernden Kräfte verhalten ſich dann umgekehrt wie die eingeſchalteten Drahtlängen.

Ein Kupferdraht müßte z. B. bei gleicher Dicke 6,44mal ſo lang ſeyn, wie ein Platindraht, um gleiche Verzögerung zu bewirken; die verzögernde Kraft des Platins iſt alſo 6,44mal ſo groß wie die des Kupfers. Setzen wir die verzögernde Kraft des Platins gleich 1, ſo iſt demnach die verzögernde Kraft des Kupfers 0,1552.

Dies wäre, wie geſagt, für die Betrachtung und Rechnung die einfachſte Methode. Die Ausführung dieſer Verſuche würde aber ſehr mühſam ſeyn. Rieß hat es deswegen vorgezogen, die Verſuche mit Drahtſtücken von beſtimmter Länge und Dicke anzuſtellen, die entſprechenden Depreſſionen zu beobachten und daraus dann die Verzögerungskraft mit Hülfe der oben gefundenen Geſetze zu berechnen.

Bei den folgenden Verſuchen war im Thermometer ſtets ein und derſelbe Platindraht ausgeſpannt (ſeine Länge war 59,25‴, ſein Halbmeſſer 0,04098‴). Es wurde nun ein Platindraht von derſelben Dicke, aber 34,67‴ Länge in den Auslader gebracht. Eine nach der oben näher beſchriebenen Methode angeſtellte Verſuchsreihe, bei welcher q und s variirt und ſtets die entſprechende Depreſſion beobachtet wurde, gab als Reſultat

$$h = 1{,}37\,\frac{q^2}{s},$$

ein gleich dicker Platindraht von 87,62‴ Länge gab

$$h = 1{,}01\,\frac{q^2}{s},$$

ein dritter gleich dicker 143,5‴ langer Platindraht gab

$$h = 0{,}79\,\frac{q^2}{s}.$$

Der Factor von $\frac{q^2}{s}$ hat, wie wir oben (S. 122) geſehen haben, die Form

$$\frac{a}{1 + b\lambda'}$$

um die Conſtanten a und b zu beſtimmen, ſind zwei Beobachtungsreihen nöthig, d. h. man muß zwei numeriſche Werthe dieſes Factors kennen, welche zwei verſchiedenen Längen von λ entſprechen.

Wir haben einmal

$$\frac{a}{1 + b\ 34{,}67} = 1{,}37,$$

dann

$$\frac{a}{1 + b\ .\ 87{,}62} = 1{,}01,$$

aus der Combination dieser beiden Gleichungen folgt

$$a = 1{,}787, \qquad b = 0{,}00878.$$

Combinirt man auf dieselbe Weise die erste und dritte Beobachtungsreihe, so kommt

$$a = 1{,}788, \qquad b = 0{,}008807,$$

die Combination der zweiten und dritten Beobachtungsreihe giebt

$$a = 1{,}792, \qquad b = 0{,}008843.$$

Das Mittel aus diesen drei Bestimmungen ist

$$a = 1{,}789, \qquad b = 0{,}008810.$$

Um die Verzögerungskraft des Kupfers zu bestimmen, wurde nun ein Kupferdraht in dem Henley'schen Auslader eingezogen. Seine Länge war 141,6‴; sein Radius 0,041952‴. Nehmen wir die Dicke des vorher untersuchten Platindrahtes zur Einheit, so ergiebt sich für den Kupferdraht der Werth des Halbmessers

$$\varrho = 1{,}0236.$$

Aus einer mit diesem Kupferdraht angestellten Versuchsreihe ergab sich

$$h = 1{,}51 \frac{q^2}{s}.$$

Nach dem obigen ist aber der Factor

$$1{,}51 = \frac{a}{1 + \frac{b' \lambda}{\varrho^2}}$$

wo a gleich dem eben gefundenen Werth 1,798, $\lambda = 141{,}6$ und $\varrho = 1{,}0236$ zu setzen ist. Es ergiebt sich alsdann für b' der Werth

$$b' = 0{,}001367.$$

Dividirt man diesen Werth von b' durch den für Platin gefundenen Werth von b, so kommt

$$\frac{b'}{b} = 0{,}1552,$$

d. h. die Verzögerungskraft des Kupfers ist 0,155mal so groß wie die des Platins, oder, wenn man die Verzögerungskraft des Platins zur Einheit nimmt, so ist die des Kupfers gleich 0,1552.

Auf ähnliche Weise bestimmte Rieß auch die Verzögerungskraft anderer Metalle und fand für:

	Verzögerungskraft.	Umgekehrte Werthe der Verzögerungskraft, Kupfer = 100 gesetzt.
Silber	0,1043	148,74
Kupfer	0,1552	100
Gold	0,1746	88,87
Cadmium	0,4047	38,35
Messing	0,5602	27,70
Palladium	0,8535	18,18
Eisen	0,8789	17,66
Platin	1,	15,52
Zinn	1,053	14,70
Nickel	1,180	13,15
Blei	1,503	10,32
Neusilber	1,752	8,86.

Die erste Zahlenreihe giebt das Verhältniß an, in welchem Drähte von denselben Dimensionen, aber verschiedenen Stoffes die Entladung der elektrischen Batterie verzögern. Die umgekehrten Werthe der Verzögerungskräfte, welche in der zweiten Zahlenreihe stehen, entsprechen dem, was die Physiker Leitungsfähigkeit zu nennen pflegen.

49 **Erwärmungsvermögen der Metalle.** Als in dem Thermometer sich ein Platindraht von 59,25‴ Länge und 0,04098‴ Radius, in dem Auslader aber ein Kupferdraht von 0,041952‴ Halbmesser und 141,6‴ Länge befand, gab eine Beobachtungsreihe

$$h = 1{,}51 \frac{q^2}{s}.$$

Bei diesen Versuchen wurde ein Thermometer angewandt, dessen Kugel 22668 Kubik-Linien enthielt, was 188404 Scalentheile ausmachte. Eine Depression von 1‴ entsprach also, wie sich aus den Seite 116 angeführten Betrachtungen ergiebt, einer Temperaturerhöhung der Luft von 0,00802°. Die Temperaturerhöhung des Drahtes ergiebt sich aus der Formel

$$T = 0{,}00802\, h \left(1. + \frac{m\, c}{M C}\right)$$

auf die Seite 117 angegebene Weise. Führt man die Rechnungen aus, so ergiebt sich als Temperaturerhöhung des Platindrahtes für $\frac{q^2}{s} = 1$

0,4635°.

Wurden nun die Drähte vertauscht, so daß der Kupferdraht in dem Thermometer, der Platindraht aber im Auslader war, so kam

$$h = 0{,}46 \frac{q^2}{s},$$

woraus sich für $\frac{q^2}{s} = 1$ als Temperaturerhöhung des Kupferdrahtes

$$0{,}04678^0$$

ergiebt. Derselbe Entladungsschlag bringt also in den beiden Drähten sehr ungleiche Erwärmungen hervor. Freilich waren auch die Halbmesser nicht ganz gleich, der des Platindrahtes war 0,04098‴, der des Kupferdrahtes 0,04195‴, wie oben (Seite 106) gezeigt wurde; verhalten sich aber die Temperaturerhöhungen der Drähte caeteris paribus wie die 4ten Potenzen der Halbmesser, demnach würde ein Platindraht von den Dimensionen des Kupferdrahtes eine Temperaturerhöhung von

$$0{,}4635\ \frac{0{,}04098^4}{0{,}04195^4} = 0{,}4230^o$$

erhalten.

Bei gleichen Dimensionen bringt also derselbe Entladungsschlag in einem Platin- und einem Kupferdrahte Temperaturerhöhungen hervor, welche sich verhalten wie 0,4230 zu 0,04678, derselbe Entladungsschlag bringt also in einem Kupferdrahte eine

$$\frac{0{,}04678}{0{,}4230} = 0{,}1106$$

mal so große Temperaturerhöhung hervor, als in einem gleich dicken Platindraht, das Kupfer hat eine 0,1106mal so große Erwärmungsfähigkeit als das Platin.

Rieß hat nach seinen Formeln 0,1133 statt 0,1106 gefunden. Die Differenz ist so unbedeutend, daß sie nicht weiter untersucht zu werden braucht.

Auf ähnliche Weise hat Rieß auch das Erwärmungsvermögen anderer Metalle bestimmt, er fand für:

	Erwärmungsvermögen.	Wärmemengen $e\,c\,g$
Silber	0,1267	0,1126
Kupfer	0,1133	0,1447
Gold	0,2112	0,1847
Messing	0,3861	0,5616
Eisen	0,7080	0,9148
Platin	1	1
Zinn	1,570	0,8917
Nickel	0,8727	1,182
Blei	2,876	1,455.

Die erste dieser Zahlenreihen giebt die Erwärmungsfähigkeit der Metalle, d. h. das Verhältniß der Temperaturerhöhungen, an welche verschiedenartige Drähte derselben Dicke erfahren würden, wenn sie, Ende an

Ende hinter einander befestigt, zugleich eine elektrische Batterie entladen.

Wenn man die Erwärmungsfähigkeit der Metalle mit ihrem specifischen Gewichte und ihrer specifischen Wärme multiplicirt, so erhält man Zahlen, welche angeben, wie sich die Wärmemengen verhalten, welche durch denselben Entladungsschlag in gleich dicken Drähten frei werden.

Nehmen wir auch hier wieder das Platin zur Einheit, so müssen wir alle gefundenen Producte noch durch das specifische Gewicht und die specifische Wärme des Platins dividiren. Auf diese Weise sind die Zahlen der zweiten Zahlenreihe erhalten worden, welche mit Wärmemengen überschrieben ist.

Diese Zahlenreihe giebt also an, in welchem Verhältniß die Wärmemengen stehen, welche in verschiedenartigen Drähten von gleichem Halbmesser frei werden würden, wenn sie, Ende an Ende befestigt, eine elektrische Batterie entladen.

Vergleicht man diese Zahlen mit den auf Seite 130 angegebenen Verzögerungskräften, so sieht man, daß sie fast ganz gleich sind (die Differenzen sind gering genug, um durch die schon an und für sich schwankenden Werthe der Wärmecapacität und des specifischen Gewichts in Verbindung mit dem Beobachtungsfehler erklärt zu werden); die verzögernde Kraft der verschiedenen Metalle verhält sich also wie die durch den elektrischen Entladungsschlag caeteris paribus in den Drähten frei werdenden Wärmemenge.

Daraus folgt ferner, daß man das relative elektrische Erwärmungsvermögen eines Metalles findet, wenn man die elektrische Verzögerungskraft desselben durch seine Wärmecapacität und sein specifisches Gewicht dividirt (und dann noch mit dem specifischen Gewichte und der Wärmecapacität des Platins multiplicirt, wenn das Erwärmungsvermögen des Platins = 1 seyn soll).

50 **Wärmemenge, welche durch den Entladungsschlag überhaupt erzeugt wird.** Vorsselmann de Heer benutzt die eben mitgetheilten Erfahrungen, um daraus auf die ganze Wärmemenge zu schließen, welche ein elektrischer Entladungsschlag erzeugt (P. A. 48. 292), nachdem er mit den Rieß'schen Formeln eine Umwandlung vorgenommen hat, die im Wesentlichen mit der auf S. 121 gegebenen Transformation ganz übereinstimmt.

Es ergiebt sich auf diese Weise, welches die Länge L eines Platindrathes von einer bestimmten Dicke seyn müßte, wenn er dem Entladungsschlag denselben Widerstand entgegensetzen, oder mit anderen Worten, die Entladung gerade eben so verzögern sollte, wie es durch die unveränderlichen Theile des Schließungsbogens geschieht.

Da die Wärmemenge, welche in einem Drahtstücke frei wird, seiner Ver-

zögerungskraft proportional ist, und da man ferner an einer Stelle des Schließungsbogens die Erwärmung eines bestimmten Drahtstückes mit Hülfe des elektrischen Luftthermometers bestimmen kann, so kann man berechnen, wie groß die Wärmemenge ist, welche in dem ganzen Schließungsbogen frei werden würde, wenn derselbe durch einen einzigen Draht von der Länge $L + \lambda$ und einer gewissen Dicke gebildet würde. Vorsselmann de Heer nimmt nun an, daß in dem ganzen Schließungsbogen wirklich eine der berechneten ganz gleiche Wärmemenge frei wird, weil der Schließungsbogen dieselbe Verzögerungskraft hat wie die berechnete Drahtlänge und der frei werdenden Wärme, ja der Verzögerung proportional ist.

Gegen diesen Schluß aber protestirt Rieß (P. A. 48. 320), indem er mit Recht einwendet, daß der wesentlichste Theil der Verzögerung im Schließungsbogen nicht sowohl von den continuirlichen metallischen Theilen des Schließungsbogens als vielmehr von den Verbindungsstellen herrührt, und daß uns die Versuche über das Verhältniß zwischen Verzögerungskraft und Wärmeentwicklung nur für continuirliche Drähte, aber nicht für discontinuirliche Metallstücke Auskunft geben, daß wir über das Verhältniß zwischen der Verzögerungskraft und Erwärmung an den Verbindungsstellen noch gar nichts wissen.

Glühen und Schmelzen der Metalldrähte durch elektrische Entladungen. 51 Während schwächere Entladungsströme in dünnen Metalldrähten eine Erwärmung hervorbringen, deren Gesetze Rieß gründlich studirt hat, und mit denen wir uns bisher beschäftigt haben, bringen stärkere Entladungen die Drähte zum Glühen, ja zum Schmelzen.

Es ist nun die Frage, ob diese Wirkungen, nämlich Glühen und Schmelzen der Drähte sich durch eine Steigerung der elektrischen Erwärmung nach den für niedrigere Temperaturen ermittelten Gesetzen erklären lassen oder nicht.

Rieß hat das Glühen und Schmelzen von Metalldrähten durch Elektricität genauer untersucht (P. A. 65. 481) und gezeigt, daß dies nicht der Fall ist.

Als in dem Schließungsbogen der Batterie ein dünner Platindraht von 15 Linien Länge, und ein dickerer im Luftthermometer eingeschlossener Platindraht eingeschaltet war, ergab sich aus den bei schwächeren Entladungen am Luftthermometer gemachten Beobachtungen nach den obigen Gesetzen für die Einheit der Ladung eine Temperaturerhöhung von $0{,}68^0$ des dünnen Drahtes.

Durch Entladung der Elektricitätsmenge 42 in 5 Flaschen wurde der Draht vollständig geschmolzen; berechnet man aber für diese Ladung die Temperaturerhöhung des dünnen Drahtes nach den bekannten Gesetzen, so findet man $0{,}68 \frac{42^2}{5} = 245^0$.

Dieſe Temperatur reicht nicht zum Glühen, geſchweige denn zum Schmelzen des Platins hin, und ſomit iſt auch klar, daß die Temperatur von 245°, welche nach den für ſchwächere Ladungen abgeleiteten Geſetzen berechnet wurde, nicht die ſey, welche das durch Elektricität geſchmolzene Platin wirklich beſaß.

Es geht daraus hervor, daß eine ſtarke Entladung in einer anderen Weiſe auf den Draht wirken müſſe als ſchwächere, was auch daraus hervorgeht, daß eine ſtarke Entladung am Drahte mechaniſche Wirkungen ausübt, welche den ſchwächeren Entladungen ganz fremd ſind.

Rieß hat mit großer Sorgfalt die Wirkung allmälig verſtärkter Entladungsſchläge unterſucht. Um ſehr ſtarke Effecte hervorbringen zu können, wandte er eine Batterie von 7 Flaſchen mit 2,6 füßiger Belegung an (ſoll wohl heißen, daß jede Belegung 2,6 Quadratfuß betrug).

Lange zuvor, ehe die zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge erreicht iſt, zeigen ſich am Draht Erſcheinungen, welche ein gewaltſames Eindringen der Elektricität bekunden; der Draht wird ſichtbar erſchüttert, es treten kleine Funken an ſeinen Enden auf, es werden von ſeiner Oberfläche Theilchen losgeriſſen, die ſich in Geſtalt eines dichten Dampfes von ihm erheben. Oft geſchieht gleichzeitig mit dem Auftreten der Funken das Losreißen größerer Metalltheile, die fortgeſchleudert und erglühend dem Funken ein ſprühendes Anſehen geben. Noch mehr geſteigerte Ladungen bringen Einbiegungen im Draht hervor, die gerade ſo ausſehen, als ob ſie mit einem kantigen Inſtrument gemacht worden wären. Wir wollen hier nur eine der Verſuchsreihen anführen, welche dieſe Erſcheinungsreihe darthaten. Ein Platindraht von 0,0261 Linien Radius und 16 Linien Länge gab folgende Erſcheinungen.

Flaſchenzahl.	Elektricitätsmenge.	
4	6	Funken an der inneren Seite des Drahtes (die der inneren Belegung zunächſt liegt).
	8	Dampfſtreifen am ganzen Drahte.
	9	Dampffunken an der äußeren Seite.
	10	Daſſelbe.
	11	Weder Funken noch Dampf; ſtarke Einbiegung.
	12	Funken an der äußeren Seite, Einbiegung verſtärkt.
	13	Der Draht glüht.

Alle dieſe Erſcheinungen, welche dem Glühen vorangehen, zeigen ſich leichter, wenn der Draht nicht angeſpannt iſt.

Schon frühere Beobachter hatten eine Verkürzung der durch elektriſche Entladungen zum Glühen gebrachten Drähte beobachtet; dieſe Verkürzung erklärt ſich nun durch die erwähnten Einbiegungen.

Die erwähnten Funken am Ende des Drahtes hängen vom Material des Drahtes und dem der Klammer ab. Die Sprühfunken zeigen sich beim Eisen in größter Ausdehnung, beim Kupfer sind gar keine Funken bemerkt worden.

Viel constanter als das Auftreten der Funken ist die Bildung der Dampfwolken, welche bei keinem Metall gefehlt hat. Die Leichtigkeit, mit welcher der Dampf gebildet wird, variirt bei verschiedenen Metallen nicht mehr als bei verschiedenen Drähten desselben Metalls. Die Dampfbildung wird durch eine größere Anzahl von Furchen, welche das Zieheisen auf den Draht zurückgelassen hat, befördert. Nach sorgfältigem Poliren der Drähte fand Rieß die Dampfbildung geringer als sonst.

Gesetze des elektrischen Glühens. 1) Glühen nach der Stärke 52
der Ladung. In den Schließungsbogen wurde ein dünner Platindraht von 0,116 L. Durchmesser und 26,6 L. Länge, und außerdem noch ein elektrisches Thermometer mit so dickem Platindraht eingeschaltet, daß er selbst bei den stärksten Entladungen unversehrt blieb. Eine bestimmte Zahl von Flaschen wurde mit steigenden Elektricitätsmengen geladen, bis eine Elektricitätsmenge erreicht war, die den Draht in ein bei Tage sichtbares Glühen versetzte, jedesmal aber auch die Erwärmung des Thermometers beobachtet. So wurde mit verschiedener Flaschenzahl verfahren. Eine solche Beobachtungsreihe gab folgende Ladungen, die zum Glühen hinreichten, nebst den entsprechenden Depressionen des Thermometers.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung des Thermometers.
5	12	20,2
4	11	21,8
3	10	21,6
2	8	20,3.

Um den dünnen Draht zum Glühen zu bringen, waren also die Elektricitätsmengen 12 in 5 Flaschen, 11 in 4, 10 in 3, 8 in 2 Flaschen nöthig. Dividirt man das Quadrat der Elektricitätsmenge durch die entsprechende Flaschenzahl, so erhält man folgende Quotienten $^{144}/_{5} = 28{,}5$, $^{121}/_{4} = 30{,}2$, $^{100}/_{3} = 33{,}3$, $^{64}/_{2} = 32$.

Diese Quotienten sind sehr nahe gleich, und man kann daraus schließen, daß wenn eine Elektricitätsmenge q in s Flaschen einen Draht glühend macht, unter sonst gleichen Umständen die Elektricitätsmenge q' in s' Flasche dieselbe Wirkung hervorbringen wird, wenn $\frac{q^2}{s} = \frac{q'^2}{s'}$. In obigen Versuchen ist jener Quotient im Mittel gleich 31, wonach für

	2	3	4	5	6	7 Flaschen
die Elektricitätsmengen	7,9	9,6	11	12,4	13,6	14,7

als diejenigen gefunden werden, welche den erwähnten Draht glühend machen.

Wir haben schon oben gesehen, daß die Erwärmung, welche ein Entladungsstrom im elektrischen Thermometer hervorbringt, unter sonst gleichen Umständen dieselbe bleibt, so lange der Quotient $\frac{q^2}{s}$ oder was dasselbe ist, das Product der elektrischen Quantität q multiplicirt mit der Dichtigkeit $\frac{q}{s}$ sich nicht ändert. Da nun aber auch zum Glühen des dünnen Drahtes stets derselbe Werth von $\frac{q^2}{s}$ nöthig ist, so läßt sich erwarten, daß die Entladungen, welche das Glühen des dünnen Drahtes bewirken, im elektrischen Thermometer auch gleiche Erwärmung hervorbringen, was bei der zuletzt angeführten Versuchsreihe in der That sehr nahe der Fall ist.

Wir wollen der Kürze halber den Strom durch seine erwärmende Kraft messen, und überall unter Stärke des Entladungsstroms die Größe der Erwärmung verstehen, welche derselbe in einem constanten im Schließungsbogen befindlichen Drahte hervorbringt. Die Stärke des Entladungsstroms ist also stets dieselbe, so lange caeteris paribus auch der Werth von $\frac{q^2}{s}$ unverändert bleibt.

2) Glühen des Drahtes nach seiner Länge. Wenn ein Entladungsstrom hinreicht, um einen dünnen Draht glühend zu machen, so wird eine Verlängerung des Drahtes den Strom in der Weise verzögern, daß sie nun nicht mehr im Stande ist, den Draht in's Glühen zu bringen. Wenn außer dem dünnen Draht auch noch ein elektrisches Thermometer in den Schließungsbogen eingeschaltet ist, so wird eine Verlängerung des dünnen Drahtes durch die Verzögerung der Entladung auch eine geringere Erwärmung des Thermometers zur Folge haben.

Da die Stärke des Entladungsstromes durch die Erwärmung des elektrischen Thermometers gemessen wird, so kann man auch also sagen, daß durch die Verlängerung des dünnen Drahtes die Stärke des Entladungsstromes vermindert wird.

Wenn also eine gewisse Ladung der Batterie eben hinreicht, einen dünnen Draht in's Glühen zu bringen, so wird bei Verlängerung des Drahtes dieselbe Ladung eine geringere Stärke des Entladungsstromes geben und zum Glühen des Drahtes nicht mehr hinreichen. Um den längeren Draht glühend zu machen, muß die Ladung verstärkt werden und zwar, wie aus den Versuchen von Rieß hervorgeht, gerade um so viel, daß die Stärke des Entladungsstromes wieder die vorige Größe erreicht.

Ein 15,7 Linien langer Platindraht kam in's Glühen bei
4 Flaschen, einer E Menge 12, die Erwärmung des Thermometers war 8.
Ein gleich dicker 77,5 Linien langer Draht kam in's Glühen bei
4 Flaschen, einer E Menge 22, die Erwärmung des Thermometers war ebenfalls 8. Gleich dicke und aber verschieden lange Drähte erfordern also zum Glühen eine gleiche Stärke des Entladungsstromes.

3) Glühen von Drähten nach der Dicke derselben. Wenn eine bestimmte Stärke des Entladungsstromes einen Draht in's Glühen bringt, so wird bei gleichem Werth von q und s ein dickerer, gleich langer Draht nicht mehr in's Glühen kommen, während die Stärke des Entladungsstromes wegen der verminderten Verzögerung zunimmt.

Um den dickeren Draht in's Glühen zu bringen, muß q vergrößert werden, wodurch auch die Stärke des Entladungsstromes vermehrt wird.

Um gleich lange Drähte, deren Radien 0,018; — 0,021; — 0,026 Linien betrugen, waren Entladungsströme nöthig, deren Stärke am gleichzeitig eingeschalteten elektrischen Thermometer gemessen 9, 20, 43 war.

Die vierten Potenzen der drei Radien verhalten sich wie 10:19:45, und diese Zahlen stehen sehr nahe in demselben Verhältniß wie 9:20:43.

Die Stärke des Entladungsstromes einer Batterie, die zum Glühen eines Drahtes nöthig wird, ist also dem Biquadrate des Drahthalbmessers proportional.

4) Glühen von Drähten verschiedener Metalle. Aus den Versuchen, die Rieß über das Glühen von Drähten verschiedener Metalle angestellt hat, folgt, daß, wenn man mit 1 die Stärke des Entladungsstromes bezeichnet, welche zum Glühen eines Platindrahtes erforderlich ist, daß alsdann bei gleichen Dimensionen ein Draht von

Eisen	bei	einer	Stromstärke	0,816
Neusilber	»	»	»	0,950
Platin	»	»	»	1,00
Palladium	»	»	»	1,07
Messing	»	»	»	2,59
Silber	»	»	»	4,98
Kupfer	»	»	»	5,95

glüht.

Erscheinungen, welche dem Glühen folgen. Wenn die Stärke 53
des Entladungsstromes noch mehr gesteigert wird, als zum ersten Glühen nothwendig ist, so treten mit wachsender Stärke der Reihe nach folgende Erscheinungen auf. Der Draht wird weiß glühend; er reißt von seinen Befestigungen ab, er zersplittert, er schmilzt, er zerstäubt.

1) Das Zerreißen. Ein Platindraht von 0,026 Linien Radius und 16 Linien Länge gab folgende Erscheinungen:

Flaschenzahl.	E Menge.	
4	12	der Draht glüht,
	14	derselbe heftig glühend,
	15	weißglühend,
	16	in drei hackige Stücke zerrissen.

Nach Cavallo soll die Gluth am Drahte vom positiven Drahtende gegen den negativen fortschreiten. Rieß bemerkte bis auf einen Fall ein entgegengesetztes Fortschreiten des Glühens.

Nach von Marum soll, wenn der Draht zum Theil zerstört wird, stets der der positiven Belegung zunächst liegende Theil zerstört werden; Rieß dagegen fand die Drähte bald an dem positiven, bald an dem negativen Ende abgerissen.

Ein Draht, der schon einige Stufen des Glühens durchgemacht hat, wird leichter zerrissen als ein neuer.

2) Das Zersplittern. Setzt man Drähte einer stärkeren Entladung aus, als zu ihrer Zerreißung nöthig ist, so zersplittern sie unter Lichterscheinung in einer größeren oder geringeren Menge kleiner Stücke, die bis in einige Entfernung zerstreut werden. An den aufgesammelten Stücken läßt sich erkennen, daß die Zerstückelung des Drahtes von einer Zerschlitzung und Zersplitterung herrührt, und daß eine Schmelzung, wo sie auftritt, nur secundär erscheint.

Ein 16 Linien langer, 0,079 Linien dicker Platindraht wurde mit einer $7\frac{1}{2}$ Linie weiten Glasröhre umgeben, im Schließungsbogen befestigt. Die Entladung der in 7 Flaschen angehäuften Elektricitätsmenge 22 brachte ihn in's Glühen, die Elektricitätsmenge 35 zerriß ihn in Stücke, welche im Rohre gefunden wurden. Die Stücke hatten an der Oberfläche deutliche Zeichen von Schmelzung, und vier der größten erschienen zu einer verschlungenen Figur zusammengelöthet, was darauf deutete, da sie heiß gegen einander und gegen die Wandung der Röhre geschleudert worden waren. Die Enden aller Stücke waren nicht geschmolzen, die meisten erschienen scharf zugespitzt. Ein ziemlich gerades Stück wurde unter dem Mikroscop gemessen; es hatte in der Mitte 0,081 Linien, an dem einen Ende 0,022 Linien Durchmesser, der Draht war also der Länge nach zerrissen worden. Aehnliches zeigten andere Stücke.

Mehrere andere Versuche gaben ähnliche Resultate. Bei behutsamer Steigerung der Ladung läßt sich die Zersplitterung ohne eine Spur von Schmelzung hervorbringen.

3) Die Schmelzung. Durch fortwährend gesteigerte Entladungen zersplittern die Drähte in immer kleinere Stücken; diese schmelzen an der Oberfläche und an den Enden, und fließen zuletzt in Kugeln zusammen.

Ueberall werden die Dräthe hart an ihren Befestigungen abgerissen, die Stücke weit fortgeschleudert. Alle folgenden Versuche wurden unter einer Glasglocke angestellt, die zerstreuten Drahtstücke auf einem untergelegten Papierblatte gesammelt.

Ein Platindraht, 0,0258‴ Rad., 19‴ lang, wurde bei $s=5$ und $q=11$ glühend; bei $q=20$ zersplittert und geschmolzen. Viele $\frac{1}{2}$ Linie lange Stücke hatten Kugeln an den Enden; einzelne Splitter waren eingeschmolzen. Ein gleicher Platindraht wurde bei $q=22$ in viele kleine ganz runde Kugeln geschmolzen.

Ein Silberdraht, 0,0264‴ Rad.; 20‴ lang, zersplitterte und schmolz bei $s=6$, $q=26$; es wurden einzelne Kugeln und angeschmolzene Splitter gesammelt.

Ein Zinndraht; Rad. 0,037, Länge 15‴. Bei $s=5$, $q=20$ tröpfelten Kugeln vom Drahte herunter, welche unter der bekannten Feuererscheinung herumhüpfend oxydirt wurden.

Ein Kupferdraht (Rad. 0,0253, Länge 16 Linien), bei $s=6$, $q=25$ glühend, bei $q=25$ in einen Haufen sehr kleiner Kugeln verwandelt. Es gelang nicht, größere Kugeln von Kupfer zu erhalten.

Hier ist die zur vollkommenen Schmelzung nöthige Ladung nicht viel größer als die, welche das erste Glühen erzeugt. Es kommt dies daher, daß bei den oxydirbaren Metallen die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft gesteigert wird, daß also zu den elektrischen Effecten noch ein chemischer hinzutritt. Am auffallendsten ist dies beim Eisen, welches oft bei Entladungen schmilzt, die direct nur ein mäßiges Glühen erzeugt haben würden.

Ein Eisendraht, 0,0266‴ Rad.; 17‴ lang, kam bei $s=3$, $q=13$ in starkes Glühen, welches aber nicht wie sonst augenblicklich aufhörte. Die Gluth steigerte sich bis zum Weißglühen; es tröpfelten einige Kugeln vom Draht ab und hüpften unter lebhaftem Funkensprühen auf der Unterlage umher.

Der Rückstand, welcher nach dem Schmelzen eines Drahtes in der Flasche bleibt, ist sehr bedeutend, er betrug bei einem Versuch von Rieß fast 23 Procent der ganzen Ladung.

4) Die Zerstäubung. Die erste direct sichtbare Wirkung der elektrischen Entladung auf einen neuen Draht besteht, wie oben bemerkt wurde, in der Bildung einer Dampfwolke, die sich von dem Drahte erhebt. Es ist wahrscheinlich, daß dieser Dampf aus Metalltheilchen besteht, welche von der Oberfläche des Drahtes losgerissen werden, und deren Menge daher von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängt. Durch Steigerung der Ladung über den Punkt hinaus, bei welchem sie den Draht vollständig schmelzen würde, ist es möglich, die ganze Drahtmasse in solchen Dampf zu

verwandeln. Diese Verwandlung geschieht unter glänzender Lichtentwicklung und mit einem starken Knall.

Ein Platindraht (rad. 0,0309 L., Länge 15 L.) wurde bis $s = 5$ und $q = 13$ glühend, und schmolz bei $q = 17$ zu Kugeln. Ein gleicher Platindraht wurde bei $q = 22$ mit glänzendem Lichte zerstäubt, und in der Röhre, welche ihn umgab, zeigte sich ein grauer abwaschbarer Anflug.

Derselbe Versuch wurde in freier Luft wiederholt, und einige Linien über den Draht ein Glimmerblatt gehalten, welches bei der Zerstäubung des Drahtes mit grauen und schwärzlichen Flocken überzogen wurde, die unter einem Mikroscop bei 280facher Vergrößerung aus Metallbrocken verschiedener Größe und Gestalt zusammengesetzt erschienen.

Die Metalle werden um so leichter zerstäubt, je spröder sie sind.

54 **Mechanismus des Schmelzens.** Ueberall, wo eine elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse vorhergegangen, und die Schmelzung kann daher nur die Wirkung der Hitze auf fein vertheiltes Metall seyn. Den Unterschied, zwischen Schmelzung durch Feuer und Schmelzung durch Elektricität, charakterisirt Rieß auf folgende Weise:

Wenn Feuer auf ein Metall wirkt, so erhitzt es dasselbe fortwährend als ganze zusammenhängende Masse bis zum Schmelzen, die Elektricität hingegen erhitzt das Metall (als zusammenhängende Masse) nur bis zu Temperaturen unter dem Schmelzpunkt, und *schmilzt durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung.*

Franklin stellte im Jahre 1747 die Ansicht auf, welche er jedoch später zurücknahm, daß der Blitz die Cohäsion eines Metalles ohne Hülfe der Wärme löse, und eine kalte Schmelzung desselben zu Wege bringe. Diese Ansicht wurde von *Berthollet* wieder aufgenommen, der jede elektrische Einwirkung auf eine Substanz durch Auseinandertreibung der Partikel derselben erklärte, und die bei der Schmelzung auftretende Wärme nur als ein secundäres Phänomen auffaßte.

In dieser Ansicht liegt allerdings, nach den oben mitgetheilten Erfahrungen, etwas Wahres, allein sie läßt die Wärme ganz unberücksichtigt, welche ja schon vor der mechanischen Wirkung auftritt; dagegen ist die später allgemein gewordene Ansicht, als ob die elektrische Schmelzung lediglich ein Resultat der Erwärmung sey, eben so einseitig, indem sie den mechanischen Effect vernachlässigt.

55 **Veränderungen im Verzögerungswerthe der Metalle bei steigenden mechanischen Wirkungen.** Wir haben oben Seite 104 gesehen, daß zwischen der Erwärmung h eines Drahtes, der Elektricitätsmenge q und der Flaschenzahl s die Relation

$$h = n \frac{q^2}{s}$$

besteht, wo n ein Factor ist, der für eine ganze Beobachtungsreihe merklich constant blieb. Dies findet nicht mehr Statt, wenn sich in dem Schließungsbogen ein Draht befindet, der durch die angewandten Entladungen mechanisch afficirt und ins Glühen versetzt wird, wie aus folgender Versuchsreihe ersichtlich ist. Als außer dem Thermometer ein 17 L. langer Platindraht, rad. 0,0209 eingeschaltet war, ergab sich

s	q	h	n	
4	5	7,6	1,22	
	7	14,0	1,15	
	9	20,0	0,99	Einbiegung,
	11	27,2	0,90	Draht glühend,
	13	33,3	0,80	weißglühend,
	15	41,3	0,95	schmilzt zu Kugeln,

Der Verzögerungswerth nimmt also zu, wenn durch steigernde Ladungen mechanische Effecte und Glühen hervorgebracht werden, er nimmt aber beim Schmelzen wieder zu.

Rieß ist nun der Ansicht, daß die anfänglichen Wärmeerscheinungen durch eine continuirliche Fortpflanzung im Drahte, d. h. durch eine solche hervorgebracht werden, bei welcher die Elektricität mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Draht durchläuft, während bei mechanischen Wirkungen, beim Glühen u. s. w. zum Theil wenigstens eine stoßweise Fortpflanzung stattfinden soll. Ist die Elektricitätsmenge zu groß, um continuirlich geleitet zu werden, so wird sie sich an einzelnen Stellen, an denen durch irgend eine Ursache ihrem Fortschreiten ein größeres Hinderniß entgegensteht, sich anhäufen, bis sie im Stande ist, den Widerstand gleichsam zu durchbrechen. Daher die Zunahme des Verzögerungswerthes. Die Stellen der Intermittenz der Entladung scheinen durch die Verbiegungen angedeutet zu seyn. Beim Schmelzen wird der Verzögerungswerth wieder kleiner, weil hier zum Theil wenigstens nur Ueberspringen der Entladung stattfindet.

Eine verschiedenartige Fortpflanzung der Elektricität findet auch bei nichtmetallischen Substanzen Statt. Bei der Entladung vermittelst eines die Luft durchbrechenden Funkens, durch Lichtbüschel u. s. w., findet eine discontinuirliche Fortpflanzung der Elektricität durch die Luft Statt, während der von Coulomb nach seinen Gesetzen erkannte allmälige Uebergang der Elektricität in Luft als die continuirliche Entladung eines elektrischen Körpers durch die Luftmasse anzusehen ist. Durch eine Röhre mit Wasser kann eine Batterie geräuschlos vollständig entladen werden (continuirliche Entladung); bei Verstärkung der Ladung erscheint aber ein

Funken in der Röhre, welche gewaltsam zertrümmert wird (discontinuirliche, explosive Entladung).

Daß sich der Entladungsschlag im Wasser auf verschiedene Weise fortpflanzt, zeigt sich am auffallendsten, wenn man außer der Wasserröhre noch ein elektrisches Thermometer in den Schließungsbogen der Batterie einschaltete. Bei 4 Flaschen gab

die Elektricitätsmenge.	Erwärmung am Thermometer.
5	0
$5\frac{1}{2}$	0
6	0
$6\frac{1}{2}$	27,5
7	35.

So lange eine continuirliche Entladung im Wasser stattfindet, verzögert es die Entladung so stark, daß das Thermometer keine Erwärmung anzeigen kann; bei einer geringen Vermehrung der Ladung tritt aber die Durchbrechung und mit ihr eine bedeutende Temperaturerhöhung im Thermometer auf.

Der Nebenstrom.

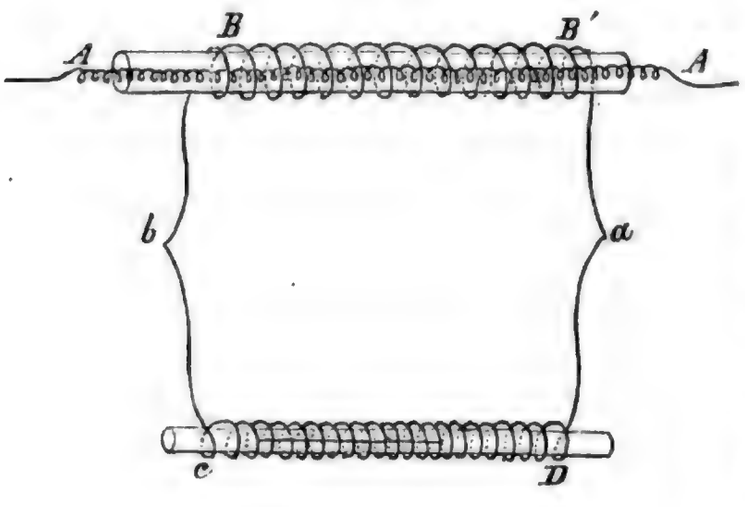
56 **Existenz des Nebenstromes.** Wenn eine elektrische Batterie durch einen längeren Metalldraht entladen wird, so kann der in dem Schließungsbogen circulirende Strom in einer naheſtehenden geschlossenen Drahtleitung einen Strom induciren.

Der Draht, welcher den Schließungsbogen der Batterie bildet, soll der Hauptdraht heißen.

Der Draht, in welchem durch die Einwirkung des Stromes im Hauptdraht ein Strom inducirt wird, soll der Nebendraht genannt werden.

Die Existenz des Nebenstromes hat Rieß (P. A. 47. 55) auf folgende Weise dargethan.

Fig. 59.



In Fig. 59 sey *AA* ein spiralförmig auf eine Glasröhre aufgewundener Kupferdraht, welcher in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet ist, *AA* sey also der Hauptdraht.

Ueber den Hauptdraht sey eine weitere Glasröhre geschoben und auf diese der Nebendraht

BB' aufgewunden, dessen Enden frei herabhängen. Bei a und b sind die Enden einer dritten Spirale CD, welche ebenfalls auf eine Glasröhre aufgewunden ist, befestigt.

Wird die Verbindung bei b gelöst und die Drahtenden in einige Entfernung gebracht, so sieht man bei b einen Funken überspringen, wenn die hinlänglich stark geladene Batterie durch den Hauptdraht entladen wird.

Dieser Funke ist ein Beweis für die Existenz des Nebenstromes; ein Ueberschlagen der Elektricität vom Hauptdraht auf den Nebendraht kann nicht stattfinden, wenn man die Nebenspirale bei den Enden der Glasröhre, auf welche sie gewickelt ist, noch hinlänglich weit frei läßt.

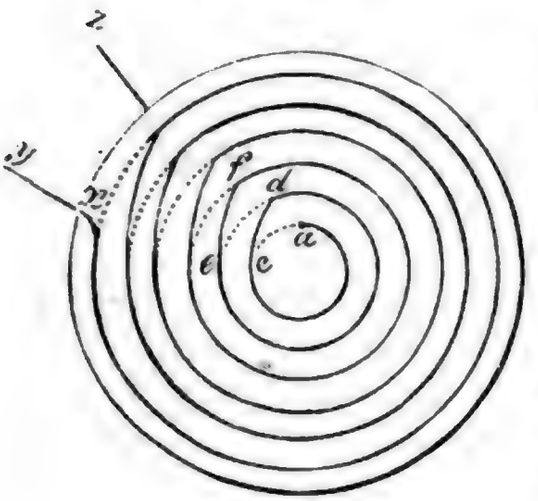
Legt man in die Glasröhre, auf welche die Spirale CD, welche wir die Magnetisirungsspirale nennen wollen, eine Stahlnadel (eine englische Nähnadel), so wird diese durch den Nebenstrom magnetisirt.

Ein in die Nebenschließung eingeschaltetes elektrisches Luftthermometer zeigt eine durch den Nebenstrom hervorgebrachte Erwärmung.

Fig. 59 zeigt die Form, in welcher Rieß zuerst seine Versuche über den Nebenstrom anstellte. Später gab er der Haupt- und Nebenspirale eine bequemere Form. (P. A. 50. 9.)

In einer aus drei aufgeleimten Dicken bestehenden Holzscheibe, deren Durchmesser von der Größe der zu bildenden Spirale abhängt, werden concentrische Rinnen eingeschnitten, und zu einer spiralförmigen Figur vereinigt, indem je zwei aufeinander folgende Kreise durch einen gekrümmten Einschnitt verbunden werden; der innerste Kreis ist mit dem zweiten durch die Rinne $c\,d$, der zweite mit dem dritten durch $e\,f$ u. s. w. verbunden. In diese Rinnen wird nun ein ungefähr $\frac{1}{2}$ Linie dicker Kupferdraht so eingelegt, daß er eine Spirale bildet. Das eine Drahtende ist bei a durch die Scheibe durchgesteckt, und geht auf der unteren Seite des Brettes nach z. Von a aus gehen die Drahtwindungen nach c, von c nach d, von d nach e, f u. s. w.; xy ist das zweite Ende des zu einer flachen Spirale aufgewundenen Drahtes.

Fig. 60.



Schon vor dem Einlegen des Drahtes wird die Scheibe mit einem dünnen Ueberzug von schwarzem Pech versehen.

Ist der Draht durch Auflegen einer heißen Metallplatte gehörig befestigt, so werden die Zwischenräume zwischen den Drahtringen mit Pech

ausgefüllt, und eine ſchwere erwärmte Metallplatte auf die Scheibe gelegt, wodurch die Drahtſpirale ganz eben gemacht werden kann. Dieſe Spirale wird nun mit Kohle geſchwärzt, auf eine zweite Holzſcheibe abgedrückt, um die Zeichnung zu einer zweiten Spirale zu erhalten, die der erſten möglichſt entſprechen muß.

Jede der Spiralſcheiben wird nun ſo auf einen Glasfuß befeſtigt, daß ihre Ebene vertikal zu ſtehen kommt. Auf einem und demſelben Geſtell werden zwei ſolche Scheiben einander gegenüber ſo aufgeſtellt, daß man ſie nach Belieben nähern oder entfernen kann. Die Art der Aufſtellung iſt aus Fig. 61 erſichtlich.

Eine andere für viele Zwecke weit bequemere Aufſtellung der flachen Spiralen, wie ich ſie bei Prof. Eiſenlohr in Karlsruhe geſehen habe,

Fig. 61.

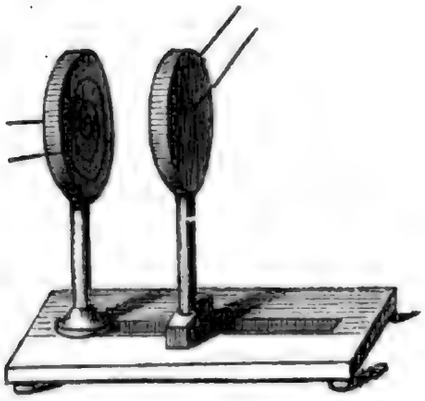
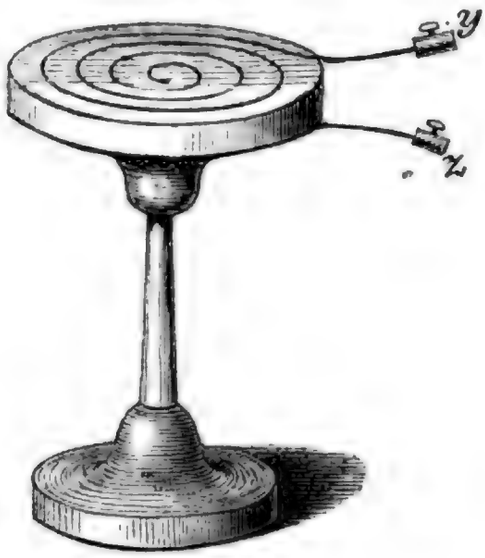


Fig. 62.



iſt Fig. 62 abgebildet. Die eine Spirale iſt auf einem aufrecht ſtehenden Glasfuße ſo befeſtigt, daß ſie eine horizontale Ebene bildet.

Die zweite Spirale iſt ganz in derſelben Weiſe an einem Glasſtab befeſtigt, der jedoch keinen Fuß hat; dieſe Spirale wird von oben her auf die andere geſetzt, wie die obere Condenſatorplatte auf die untere.

Die Entfernung der beiden Spirale kann man dadurch ändern, daß man Glasplatten von verſchiedener Dicke zwiſchen dieſelben legt. Größere Entfernungen laſſen ſich durch Einſchieben gefirnißter Holzſtäbchen, die eine beſtimmte Dicke haben, hervorbringen.

Die Enden des Spiraldrahtes ſind mit Schraubenklemmen z und y verſehen, vermittelſt deren man die Schließung der Spirale beliebig bewerkſtelligen kann.

Wenn y und z der unteren Spirale auf 1 bis 2 Linien genähert, und die beiden Spiralen durch eine Glasplatte getrennt ſind, ſo ſieht man zwiſchen y und z einen Funken überſpringen, wenn durch die obere Spirale

eine hinlänglich geladene Flasche entladen wird. Es ist der Nebenstrom, der hier den Funken bildet.

Magnetisirung durch den Hauptstrom. Um nicht zu irrigen 57
Schlüssen über die Magnetisirung durch den Nebenstrom verleitet zu werden, muß man die Magnetisirung durch den Hauptstrom selbst erst gehörig untersuchen.

Eine solche Untersuchung ist zuerst von Savary gemacht worden. Rieß hat die Savary'schen Versuche wiederholt und bestätigt gefunden. Folgendes sind die Resultate der von Rieß über die Magnetisirung durch den Hauptstrom gemachten Versuche. (P. A. 47. 55.)

In den Schließungsbogen der Batterie, welche aus 25 Flaschen (von $1\frac{1}{2}$ Quadratfuß Belegung) bestand, wurde eine Spirale von Platindraht eingeschaltet, welche mit einer Länge von 26 Zoll in 42 Windungen auf eine 3 Zoll lange Glasröhre aufgewunden war; die beiden nicht spiralförmig gewundenen Enden dieses Platindrahtes waren zusammen noch 34 Zoll lang.

Bei jedem Versuche wurde eine neue unmagnetische englische Nähnadel in die Spirale gelegt, welche 13,9‴ lang und in der Mitte 0,19‴ dick war. Nachdem der Entladungsschlag durch die Spirale hindurch gegangen war, war auch die Nadel magnetisch geworden. Um die Stärke ihres Magnetismus zu untersuchen, wurde sie bis auf eine bestimmte Entfernung einer 2 Zoll langen Boussolennadel genähert (wie, ist nach der Beschreibung von Rieß nicht wohl zu verstehen) und die Ablenkung der Boussolennadel beobachtet, welche sie hervorbrachte.

Bei gesteigerter Ladung der Batterie änderte sich nicht allein die Stärke, sondern auch die Polarität des Magnetismus der Nadel, wie man aus folgender Tabelle ersieht:

Q	5	10	15	20	25	27	29	30	32	35
Abstoßung	9°	14,5	15	10,3	6,5	—2,5	—7,5	—8,5	2,3	11,5

Man sieht, daß eine stärkere Ladung der Batterie nicht unbedingt eine stärkere Magnetisirung zur Folge hatte, daß ferner nicht immer die Magnetisirung so erfolgte, wie man es nach der Amper'schen Regel (daß ein mit dem positiven Stome schwimmend gedachtes Phantom, wenn es die Nadel anschaut, den Nordpol derselben zur Linken hat) hätte erwarten sollen, denn bei allen mit — bezeichnenden Ablenkungen fand eine anormale Magnetisirung der Nadel Statt.

Bei dieser Versuchsreihe nahm die Stärke des Magnetismus der Nadel mit der Größe der Ladung anfangs zu, dann wieder ab, bis endlich die Richtung des Magnetismus sogar umgekehrt wurde, und erst bei noch stärkeren Ladungen wieder eine normale Magnetisirung auftrat.

Diese Versuche sind ein Beweis, daß man von der Polarität der Nadel nicht auf die Richtung des Entladungsstromes schließen darf.

Bei schwächeren Ladungen war die Nadel normal magnetisirt; anormale Magnetisirung tritt bei steigender Ladung nur bei dünneren Nadeln auf; dickere Nadeln sind stets normal magnetisirt, obgleich stärkere und stärkere Ladungen auch in ihnen eine Ab- und Zunahme in der Stärke des Magnetismus bewirken.

58 **Magnetisirung durch den Nebenstrom.** Diese Eigenthümlichkeiten der Magnetisirung der Stahlnadeln findet in gleicher Weise für den Nebenstrom Statt. Die Magnetisirung durch den Nebenstrom wird der Stärke und der Richtung nach geändert:

1) durch Vergrößerung der Ladung;

2) durch Vergrößerung der Oberfläche der Batterie bei gleicher Größe der Ladung. Je größer die Oberfläche, desto stärker fand Rieß den Magnetismus der Nadel; wenn dieselbe Elektricitätsmenge auf eine größere Oberfläche vertheilt ist, so hat sie eine geringere Dichtigkeit, welcher eine langsamere Entladung entspricht, durch welche die Magnetisirung befördert wird.

3) Es wird der Gang der Perioden der Ab- und Zunahme, so wie der Umkehrung des Magnetismus verändert, durch eine Veränderung in der Schließung der Nebenspirale, dadurch also, daß man in der Schließung der Nebenspirale längere und längere Drähte einschaltet.

Bleibt die Nebenschließung zwar metallisch dieselbe, wird sie aber an einer Stelle unterbrochen, so daß hier der Nebenstrom mit einem Funken übergehen muß, so hat dies den merklichsten Einfluß auf die Magnetisirung; oft wird dadurch der Magnetismus auf das bedeutendste verstärkt, zuweilen geschwächt, ja sogar auch in Beziehung auf die Richtung geändert. Die stärksten Magnetisirungen durch den Nebenstrom, die nahe bis zur Sättigung der Nadel gingen, sind auf diese Weise erhalten worden.

4) Es findet eine successive Veränderung in der Stärke und auch eine Veränderung in der Richtung der Magnetisirung durch die Nebenspirale Statt, wenn caeteris paribus die Länge der Schließung der Hauptspirale successiv vergrößert wird.

Zu diesen Magnetisirungsversuchen kann man den Apparat, Fig. 62, sehr bequem anwenden. Man nimmt die untere Spirale zur Nebenspirale und schaltet die Magnetisirungsspirale zwischen x und y ein, indem man die Enden der Magnetisirungsspirale in sie einschraubt.

59 **Wärmeerregung durch den Nebenstrom.** Daß der Nebenstrom auch thermische Erscheinungen hervorbringt, ist bereits erwähnt worden; Rieß hat jedoch auch die Gesetze der Wärmeentwickelung durch den Nebenstrom näher untersucht. (P. A. 47. 65.)

In den Schließungsbogen der Nebenspirale wurde eine Magnetisirungs-

spirale und ein elektrisches Luftthermometer eingeschaltet. Die folgende Tabelle enthält die thermischen und magnetischen Wirkungen, welche der Nebenstrom hervorbringt, wenn die Oberfläche und die Ladung der Batterie geändert wird. s und q haben die bekannte Bedeutung.

s	q	Erwärmung beobachtet.	Erwärmung berechnet.	Magnetisirung.
5	15	3,8	3,4	
	20	6,2	6,0	
	25	9,0	9,4	
	30	12,0	13,5	
10	20	3,4	3,0	0,5°
	30	7,0	6,8	1,5
15	30	4	4,5	1,5
20	30	3,5	3,4	4,0
25	30	2,5	2,7	2,3
	40	4,4	4,8	—0,6
5	20*	6,2		8,8
	25*	8,3		2,0
	30*	9,8		—3,6

In der letzten Columne sind die durch die magnetisirte Nadel hervorgebrachten Ablenkungen der Boussole in der oben angedeuteten Beziehung verzeichnet. Wo keine Abstoßung verzeichnet ist, war die Magnetisirung unmerklich.

Bis auf die drei letzten mit * bezeichneten Beobachtungen stimmen die beobachteten Erwärmungen sehr wohl mit der Formel $h = a\frac{q^2}{s}$. Aus allen Beobachtungen (die von Rieß gegebene Tabelle enthält noch einige Beobachtungen mehr) ergiebt sich für a der Mittelwerth 0,075; die mit diesem Werthe nach der Formel $h = a\frac{q^2}{s}$ berechneten Werthe der Erwärmung stimmen ganz gut mit den beobachteten; die Formel

$$h = a\frac{q^2}{s}$$

gilt also auch für die durch den Nebenstrom hervorgebrachten Erwärmungen.

Bei den mit * bezeichneten Beobachtungen war die Nebenschließung unterbrochen, so daß der Nebenstrom mit einem Funken übergehen mußte. Dies hat, wie bekannt, auf die Magnetisirung einen sehr bedeutenden Ein-

fluß, der ſich auch hier zeigt, während die Erwärmung nur unbedeutend dadurch afficirt wird; ſie fällt etwas kleiner aus.

Als in die Hauptſchließung ein 78‴ langer, $^1/_{12}$ Linie dicker Neuſilberdraht eingeſchaltet wurde, fielen die Erwärmungen kleiner aus, der Factor a, welcher oben gleich 0,075 gefunden worden war, ergab ſich nun gleich 0,028.

Wie leicht begreiflich, wird die Elektricitätsmenge im Nebenſtrom deſto größer ſeyn, ein je größerer Theil der Hauptſpirale unter ſonſt gleichen Umſtänden auf die Nebenſpirale einwirkt. Um die hierdurch entſtehende Vergrößerung des Nebenſtromes zu beſtimmen, wurde die Nebenſpirale BB, Fig. 59, nur durch den Platindraht des Thermometers geſchloſſen, zuerſt nur auf die geradlinige Verlängerung der Hauptſpirale AA geſchoben und die Erwärmung gemeſſen, welche durch die Entladung von $q = 20$ in $s = 5$ im Nebendrahte hervorgebracht wurde. Dann wurde in ſucceſſiven Verſuchen eine verſchiedene Anzahl von Windungen der Hauptſpirale unter die Nebenſpirale gebracht und dieſelbe Elektricitätsmenge auf dieſelbe Weiſe entladen. Dieſe Verſuche gaben folgende Reſultate.

Länge des geraden Drahtes.	Zahl der Windungen.	Erwärmung im Nebendraht.
134‴	0	1,85
102	24	4,9
63,4	53	7,6
24,8	82	11,5
0	101	14,0

Die Zahlen der letzten Columne ſind das Mittel aus zwei ſehr nahe daſſelbe Reſultat gebenden Verſuchen.

Da man weiß, welche Erwärmung (1,85) im Nebendraht der Einwirkung eines 134‴ langen gerade ausgeſpannten Stückes des Hauptdrahtes, ſo läßt ſich berechnen, welche Erwärmung im Nebendraht durch die Einwirkung eines 102‴, — 63, 4‴ u. ſ. w. langen geraden Stückes des Hauptdrahtes hervorgebracht wird und ſo iſt man im Stande, zu ermitteln, welche Erwärmung durch die Einwirkung von 24, 53, 82, 101 Windungen des Hauptdrahtes allein hervorgebracht wird; es ergiebt ſich

bei 24 Windungen . .	3,5
» 53 » » . .	6,7
» 82 » » . .	11,2
» 101 » » . .	14,0

Die Erwärmung iſt in der That der Anzahl der wirkenden Windungen

der Hauptspirale sehr nahe proportional, es ergiebt sich also, daß die von dem Schließungsdrahte der Batterie in einem Nebendrahte erregte Elektricitätsmenge unter sonst gleichen Umständen der wirksamen Länge des Schließungsdrahtes proportional ist.

Wenn über dieselbe Hauptspirale AA derselbe Nebendraht einmal parallel mit der Hauptspirale, dann aber mit steileren Windungen aufgewunden wird, so daß also die Hauptspirale zwar immer ihrer ganzen Länge nach, aber einmal auf einen längern mit ihr gleichlaufenden und dann auf einen kürzeren und steiler laufenden Theil des Nebendrahtes einwirkt, so ist im letzteren Fall die Wirkung begreiflicher Weise um so geringer, je mehr die Richtung der Windungen bei den Spiralen von einander abweicht, je steiler also die Nebenspirale im Vergleich zur Hauptspirale ist.

Alle zu den bisherigen Versuchen angewandten Spirale waren rechts gewunden. Auf die Stärke des Nebenstromes ist es nicht gleichgültig, ob die Nebenspirale in gleichem oder entgegengesetztem Sinne aufgewunden ist, wie die Hauptspirale. Auf eine rechts gewundene Hauptspirale wurde 8′ Kupferdraht einmal rechts, einmal links aufgewunden, es ergab sich

	Erwärmung.
Nebenspirale rechts	15,4
» » links	2,7

Wirkung des Hauptdrahtes auf verschiedene Nebendrähte. 60
Ein 26 Zoll langes Stück ab desjenigen Drahtes, welcher den Hauptdraht bildete, war geradlinig ausgespannt; parallel mit ihm lief ein auf gleicher Länge gerade ausgespanntes Stück cd des Nebendrahtes. Die ganze Nebenschließung, in welche der elektrische Luftthermometer eingeschaltet wurde, bestand aus Kupfer- und Eisendraht. Mag nun das Stück cd der Nebenschließung, welches ab gegenüber lag, ein Theil des Eisendrahtes oder ein Theil des Kupferdrahtes seyn, welcher die Nebenschließung bildet, so ist bei gleicher Ladung der Batterie die Erwärmung des Thermometers dieselbe, vorausgesetzt, daß der Eisendraht und der Kupferdraht gleiche Durchmesser haben und der Zwischenraum im Lichten zwischen ab und cd derselbe ist.

Wenn also der Leitungswiderstand der gesammten Nebenschließung nur unverändert bleibt, so ist es für die Stärke des Nebenstromes ganz gleichgültig, ob ein besser oder ein schlechter leitendes Drahtstück der Einwirkung des Hauptdrahtes ausgesetzt ist.

Es war mir nicht möglich, die Anordnung der hierher gehörigen Versuche aus der Beschreibung (P. A. 50. 3) vollständig zu verstehen.

61 **Abnahme des Nebenſtromes nach der Entfernung vom Hauptdraht.** Um zu ermitteln, wie die Einwirkung auf den Nebendraht mit der Entfernung vom Hauptdrahte abnimmt, müſſen die parallel laufenden Stücke eine größere Länge haben, weil ſonſt bei etwas großen Entfernungen die Erwärmung im Nebendrahte zu gering ausfällt.

Rieß (P. A. 50. 7) ſpannte zwei 10′ 6″ lange Kupferdrähte parallel aus. Der eine wurde durch 6 Fuß lange Kupferdrähte in den Schließungsbogen der Batterie eingeſchaltet, die Enden des andern wurden durch ähnliche Drähte mit dem Platindraht des Thermometers verbunden. Wenn die Axenentfernung der parallelen Drahtſtücke geändert wurde, ſo ergab ſich aus den Angaben des Thermometers, daß der von dem gerade ausgeſpannten Theile des Schließungsdrahtes der Batterie in dem parallelen Drahte erregte Strom in dem Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Axenentfernung der Drähte wächſt, vorausgeſetzt, daß man nicht von einer zu geringen Entfernung der Drähte ausgeht; wenn man nämlich die Drähte über eine gewiſſe Gränze nähert, ſo nehmen die Erwärmungen in geringerm Verhältniß zu, als die Entfernungen abnehmen.

Um einigermaßen bedeutende Erwärmungen durch den Nebenſtrom zu erlangen, muß man mit großen Drahtlängen operiren, deren Handhabung ſehr unbequem iſt, wenn ſie gerade ausgeſpannt ſeyn ſollen. Es iſt daher, wo man nur die Erregung eines intenſiven Nebenſtromes beabſichtigt, bei weitem vorzuziehen, die Drähte in flache Spirale aufzuwinden, wie dieß ſchon oben S. 144 beſchrieben wurde.

Der Strom, der von der Hauptſpirale in der Nebenſpirale erregt wird, iſt deſto ſchwächer, je weiter die Spiralen von einander entfernt ſind, aber man begreift leicht, daß zwiſchen der Stärke des Stromes und der Entfernung der Spiralen kein einfaches Verhältniß ſtattfinden kann, denn irgend ein Bogenſtück der Hauptſpirale erregt nicht allein in dem zunächſtliegenden nach derſelben Seite gekrümmten Stücke der Nebenſpirale einen Strom, ſondern auch in entfernteren entgegengeſetzt gekrümmten Stücken; letzterer iſt zwar ſchwächer, aber er wirkt dem erſteren entgegen und vermindert ſeine Wirkung. Offenbar aber ändert ſich das Verhältniß der beiden entgegengeſetzten Ströme in der Nebenſpirale, wenn die Entfernung der Spiralen geändert wird. Wenn man von ganz geringen Entfernungen der beiden Spiralen ausgeht, ſo nimmt die Stärke des Nebenſtromes anfangs weit langſamer, bei größerer Entfernung aber weit raſcher ab, als die Entfernung der Spiralen.

62 **Einwirkung von nebenſtehenden geſchloſſenen Leitern auf die Erregung des Nebenſtromes.** Auf dem Boden eines Zimmers ſpannte Rieß (P. A. 50. 12) drei 0,55‴ dicke Kupferdrähte in einer Länge von

10′ 6″ parallel neben einander aus. Diese Drähte seyen der Ordnung nach mit *A*, *B* und *C* bezeichnet; die Axenentfernung von *A* und *B* betrug 4,45‴, die von *B* und *C* 2,35‴.

Der Draht *A* wurde in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet; von den Enden des Drahtes *C* führten 6′ lange Kupferdrähte zum Thermometer, so daß also der Thermometer in den Nebendraht *C* schloß. Als *B* ganz weggenommen wurde, ergab sich für die Einheit der Ladung eine Erwärmung 0,135 im Thermometer. Als der Draht *B* wieder an seine Stelle gelegt wurde, ergab sich fast ganz genau dieselbe Erwärmung, als aber die Enden von *B* durch einen 14 Fuß langen Kupferdraht verbunden wurden, wurde die Erwärmung nur 0,094 gefunden. Es folgt hieraus:

Der vom Schließungsdrahte der Batterie in einem Nebendrahte erregte Strom bleibt unverändert, wenn zwischen beiden Drähten ein Draht mit freien Enden liegt, der Strom wird aber vermindert, wenn der Zwischendraht in sich geschlossen ist.

Es ist nicht gerade nöthig, daß der Draht *B* zwischen *A* und *C* liege, damit er den Strom in *C* schwächt, welcher durch den Entladungsstrom erzeugt wird, der den Draht *A* durchläuft. *B* könnte jenseits *C* oder jenseits *A* liegen, so wird der durch den Hauptstrom *A* im Nebendraht *C* erzeugte Nebenstrom stets schwächer seyn, wenn *B* geschlossen ist, wenn also auch in *B* ein Nebenstrom entsteht, als wenn dies nicht der Fall ist. Wenn also der Hauptdraht der Batterie in zwei einander nahe stehenden Nebendrähten elektrische Ströme erregt, so ist jeder der beiden Nebenströme schwächer, als wenn der andere nicht vorhanden wäre.

Zwei Spiralscheiben von 6 Zoll Durchmesser, jede aus 13 Fuß 0,55 Linien dickem Kupferdraht gebildet, wurden 10‴ von einander entfernt aufgestellt. Das Thermometer der Nebenspirale zeigte eine bedeutende Erwärmung (42 Scalentheile), als durch die Hauptspirale die in 4 Flaschen angehäufte Elektricitätsmenge 20 entladen wurde. Als aber unter sonst gleichen Umständen dieselbe Elektricitätsmenge entladen wurde, während eine Kupferscheibe von 6″ 10‴ Durchmesser und 0,33‴ Dicke zwischen beiden Spiralen aufgestellt war, zeigte das Thermometer der Nebenspirale keine merkliche Erwärmung.

Dieser bedeutende Effect der Kupferscheibe hing offenbar von der guten Leitung ab, welche sie dem Strom gewährte.

Soll die Zwischenscheibe noch eine merkliche Erwärmung in der Nebenspirale bestehen lassen, so muß sie schlechter leiten. In dem Maaße, als

die Leitungsfähigkeit der Zwiſchenplatte abnimmt, wächſt der Strom in der Nebenſpirale.

Als Zwiſchenſcheibe wurde der Reihe nach angewandt 1) ein 0,01‴ dickes Stanniolblatt; 2) ein ſolches von 0,0168‴ Dicke; 3) beide zuſammen; 4) ein Blatt unächten Silberpapiers. Dieſe Blätter waren ſtets zwiſchen Glasplatten geklemmt, 1‴ weit von der Hauptſpirale aufgeſtellt worden; als die beiden Spiralen $2\frac{1}{2}$‴ weit von einander abſtanden, ergaben ſich folgende Erwärmungen in der Nebenſpirale für die Einheit der Ladung:

Ohne Zwiſchenſcheibe	0,66
Zwiſchenſcheibe: unächtes Silberpapier .	0,57
» » dünnes Stanniolblatt .	0,087
» » dickes Stanniolblatt .	0,056
» » beide Stanniolblätter .	0,034

Vergleicht man die drei zuletzt angegebenen Erwärmungen mit den entſprechenden Dicken der eingeſchalteten Stanniolblätter, ſo ergiebt ſich, daß die Stromſtärke im Nebendrahte der Dicke der eingeſchobenen Metallſcheibe umgekehrt proportional iſt.

Daſſelbe Reſultat erhielt man, als die Verſuche in gleicher Weiſe bei größerer Entfernung wiederholt wurden.

63 **Wirkung iſolirender Zwiſchenplatten auf die Bildung des Nebenſtromes.** Faraday hat bei der in Ruhe befindlichen Elektricität den verſchiedenen Iſolatoren ein ſpecifiſches Vertheilungsvermögen zugeſchrieben, ſo daß durch eine Glas- und Schellackplatte hindurch die Vertheilung weit ſtärker ſey, als durch Luft.

Man kann nun die Entſtehung des Nebenſtromes nicht gut anders, als durch eine Elektricitätserregung durch Vertheilung erklären, und dürfte daher einen Strom von verſchiedener Stärke erwarten, je nachdem zwiſchen die Haupt- und Nebenſpirale Scheiben von verſchiedenen iſolirenden Subſtanzen eingeſchaltet werden.

Da die feſten Iſolatoren ein größeres ſpecifiſches Vertheilungsvermögen beſitzen ſollen, als Luft, ſo würde ſich mit Hülfe des Nebenſtromes eine ſcharfe Grenze zwiſchen feſten Leitern und Iſolatoren der Elektricität ziehen laſſen. Während nämlich die Leiter als Zwiſchenplatten angewandt den durch Luft vermittelten Nebenſtrom verringern, müßten die Iſolatoren, als Zwiſchenplatten angewandt, denſelben verſtärken.

Rieß hat trotz ſorgfältiger Unterſuchung eine ſolche Verſtärkung des Nebenſtromes durch Einſchiebung iſolirender Zwiſchenplatten, als Glas, Schellack u. ſ. w. nicht finden können. Die Anwendung dieſer iſolirenden Zwiſchenplatten änderte nichts in der Stärke des Nebenſtromes, welche

genau eben so groß gefunden wurde, als ob sich blos Luft zwischen den Spiralen befunden hätte. (P. A. 50. 18.)

Wirkung des Schließungsdrahtes der Batterie auf sich selbst. 64

In einem Drahte mit freien Enden kann, wie wir gesehen haben, durch Vertheilung kein elektrischer Strom erregt werden. Der Schließungsdraht der elektrischen Batterie ist nun ein solcher Draht; da aber hier der Umstand eintritt, daß seine freien Enden in ausgedehnte Metallflächen verlaufen, welche die Anhäufung entgegengesetzter Elektricitäten gestatten, so ist es doch nöthig, experimentell zu untersuchen, ob nicht ein Theil des Schließungsdrahtes auf einen andern Theil desselben vertheilend wirken könne.

Rieß suchte die Frage auf folgende Weise zu lösen (P. A. 50. 19).

Die beiden Spiralen, von denen der eine bisher als Haupt-, der andere als Nebenspirale gedient hatte, wurden in geringer Entfernung einander gegenüber gestellt und sie dann so verbunden, daß sie eine einzige Drahtleitung bildeten, so also, daß in dem Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet, der Entladungsstrom durch den einen und durch den anderen gehen mußte.

Einmal wurde das Randende der einen Spirale mit dem Centrumende der anderen durch einen Kupferdraht verbunden, so daß wenn der Entladungsstrom in der einen Spirale von der Mitte zum Rande lief, er auch in der anderen von der Mitte zum Rande laufen mußte, daß also der Entladungsstrom die beiden Spirale in gleicher Richtung durchlief.

Dann wurde das Randende der einen Spirale mit dem Randende der anderen leitend verbunden, so daß der Strom, den der eine von der Mitte zum Rande durchläuft in der zweiten Spirale vom Rande zur Mitte geht, daß also der Entladungsstrom die beiden Spiralen in entgegengesetzter Richtung durchläuft.

Wenn nun ein Theil des Schließungsbogens auf den anderen eine Einwirkung ausüben kann, so muß im ersten Fall jede Spirale in der anderen einen mit dem Hauptstrom gleich gerichteten, bei der letzten Verbindungsweise der Spirale aber einen dem Hauptstrom entgegengesetzten Strom erzeugen; im letzteren Falle müßte also caeteris paribus die Stromstärke schwächer ausfallen als im ersten.

Würde nun außer den combinirten Spiralen noch das Thermometer in den Schließungsbogen eingeschaltet, so zeigte es unter sonst gleichen Umständen völlig gleiche Erwärmung, mogten nun die Spiralen auf die eine oder andere Weise verbunden seyn, woraus folgt, daß bei der Entladung der Batterie kein Theil des Schließungsdrahtes vertheilend auf den anderen wirkt.

65 **Verzögerung der elektriſchen Entladung durch Leiter, welche dem Schließungsdrahte der Batterie nahe ſtehen.** Rieß ſchaltete (P. A. 49. 393) in den Schließungsbogen der Batterie außer dem Luftthermometer noch einen 13′ langen, 0,55 Linien dicken Kupferdraht ein, der auf einer mit ſchwarzem Pech überzogenen, auf einem Glasfuße ſtehenden Holzſcheibe von 6″ Durchmeſſer zu einer flachen Spirale gewunden war, in der Weiſe, wie es bei dem Fig. 61 dargeſtellten Apparat der Fall iſt. Eine mit dem ſo eingerichteten Schließungsbogen gemachte Verſuchsreihe gab

$$h = 0{,}43\,\frac{q^2}{s}.$$

Nun wurde parallel mit der Hauptſpirale $2\frac{1}{2}'''$ von ihr entfernt eine Kupferſcheibe von 6″ 10‴ Durchmeſſer uud 0,33‴ Dicke aufgeſtellt, und es ergab ſich

$$h = 0{,}41\,\frac{q^2}{s}.$$

Endlich wurde parallel mit der Hauptſpirale eine ihr ganz gleiche Nebenſpirale aufgeſtellt, deren Enden in vollkommener metalliſcher Verbindung waren, und es ergab ſich

$$h = 0{,}42\,\frac{q^2}{s}.$$

Alſo weder die Kupferſcheibe, noch die Nebenſpirale übten einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung im Schließungsbogen aus.

Statt der vollkommenen metalliſchen Schließung wurde nun an der Nebenſpirale eine unvollkommene angebracht, d. h. die Enden der Kupferſpirale wurden durch einen Platindraht von 138‴ Länge und 0,023‴ Radius geſchloſſen. Als die ſo geſchloſſene Nebenſpirale 5‴ weit von der Hauptſpirale aufgeſtellt wurde, ergab ſich

$$h = 0{,}32\,\frac{q^2}{s},$$

als ſie aber nur $2\frac{1}{2}'''$ weit von der Hauptſpirale entfernt war, ergab ſich

$$h = 0{,}27\,\frac{q^2}{s}$$

Die Nebenſpirale durch einen 460‴ langen und $\frac{1}{12}'''$ dicken Draht von Neuſilber geſchloſſen und $2\frac{1}{2}$ Linien von der Hauptſpirale entfernt aufgeſtellt, gab

$$h = 0{,}17\,\frac{q^2}{s}.$$

Die Nebenſpirale durch eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre von 9 Zoll Länge geſchloſſen, gab

$$h = 0{,}39\,\frac{q^2}{s}.$$

Wir wollen nun diese Resultate einer etwas näheren Betrachtung unterwerfen.

Der Strom in den Schließungsbogen erregt, wie wir schon oben gesehen haben, einen Strom, sowohl in der nahe gestellten Kupferscheibe als auch in der Nebenspirale, der Strom in der Nebenspirale kann aber in der Hauptspirale keinen Strom induciren, weil diese nicht metallisch geschlossen ist (die beiden Belegungen der Flasche sind ja durch Glas getrennt), die einzig mögliche Einwirkung des Stromes in der Nebenspirale auf den Strom in der Hauptspirale ist die, daß er etwa eine Verzögerung des Entladungsstromes bewirkt.

Wenn nun die Schließung der Nebenspirale vollkommener ist, als die der Hauptspirale, so wird auch der Strom der Nebenspirale rascher verlaufen als der der Hauptspirale, und deshalb kann keine Rückwirkung von der Nebenspirale auf die Hauptspirale stattfinden, daher denn auch bei guter Schließung der Nebenspirale die Erwärmung im Schließungsbogen nur unbedeutend geringer gefunden wurden, als wenn gar keine Nebenspirale vorhanden gewesen wäre.

Bei unvollkommen metallischer Schließung der Nebenspirale, ist der Nebenstrom von längerer Dauer, der Entladungsstrom im Hauptdraht findet also während seiner ganzen Dauer den Nebendraht von einem gleichgerichteten Strom durchlaufen, und wir müssen annehmen, daß dies die Ursache der Verzögerung des Hauptstroms ist, welche sich durch die verringerte Erwärmung kund giebt; durch unvollkommene Schließung der Nebenspirale wurde ja die Erwärmung im Hauptstrom im Verhältniß von 0,43 bis zu 0,17 herabgebracht.

Bei Einschaltung der Wasserröhre in der Schließung der Nebenspirale wird die Erwärmung im Hauptdraht wieder größer, ja fast so groß, als ob gar keine Nebenspirale dagewesen wäre, was sich sehr gut dadurch erklärt, daß bei sehr schlechter Schließung der Nebenspirale kein merklicher Nebenstrom erregt wird.

Der Umstand, daß bei ganz vollkommener sowohl, als auch bei ganz schlechter Schließung der Nebenspirale die Wirkung auf den Hauptdraht geringer ist, als für eine mittelmäßig gute Schließung, läßt erwarten, daß, wenn man die Nebenspirale durch längere und immer längere dünne Drähte schließt, daß alsdann anfangs die Erwärmung im Schließungsbogen der Hauptspirale abnimmt, daß bei einer bestimmten Länge des eingeschalteten Drahtes die Wirkung der Nebenspirale ein Maximum wird, daß sie wieder abnimmt, daß also die Erwärmung im Schließungsbogen die Hauptspirale wieder zunimmt, wenn man den Draht, durch welchen die Nebenspirale geschlossen ist, nun noch mehr verlängert.

Dies wird durch Versuche bestätigt, welche Rieß angestellt hat (P. A.

51. 177). Bezeichnen wir durch 100 die Erwärmung, welche an dem Thermometer beobachtet wurde, welches in den Schließungsbogen der Hauptspirale eingeschaltet ist, wenn die Nebenspirale durch einen kurzen dicken Kupferdraht geschlossen war, so ergab sich:

Bei Einschaltung von 0,1577‴ dickem Neusilberdraht, dessen Länge betrug	eine Erwärmung.
4,8′	70
9,8	55
19,7	52
29,6	48
39,4	52
88,7	61
138	66
286	76
582	87
Nebenspirale offen	100.

Man sieht aus dieser Tabelle, wie bei zunehmender Länge des in die Schließung der Nebenspirale eingeschalteten Neusilberdrahtes anfangs die Erwärmung des Thermometers in der Schließung der Hauptspirale sehr rasch abnimmt, daß sie ein Minimum wird, wenn die Länge des eingeschalteten Neusilberdrahtes 29,6 pariser Fuß beträgt, für welchen Fall die Erwärmung nur noch 48 Procent von der beträgt, welche bei vollkommener Schließung der Nebenspirale beobachtet wird. Wächst die Länge des eingeschalteten Drahtes über 29,6 hinaus, so nimmt die Erwärmung allmälig wieder zu; durch eine Verlängerung des Neusilberdrahtes bis auf 582 Fuß steigt die Erwärmung wieder bis auf 87 Procent der ursprünglichen.

Ein neben dem Schließungsdraht der elektrischen Batterie befindlicher metallisch geschlossener Draht, wirkt also nach Maaßgabe seiner Schließung auf die Batterieentladung verzögernd ein. Wird die Schließung des Nebendrahtes progressiv verlängert, so nimmt die Einwirkung desselben zu, erreicht ein Maximum und nimmt von dort fortwährend wieder ab.

Die Veränderungen, welche die Erwärmung im Hauptdrahte durch die Verlängerung des Nebendrahtes erleidet, befolgen das in der letzten Tabelle angeführte Gesetz, mag nun die Ladung der Batterie stärker oder schwächer seyn, bei stärkerer Ladung sowohl wie bei schwächerer ist die verzögernde Wirkung des Nebendrahtes ein Maximum, wenn die Nebenspirale durch 29,6 Fuß des erwähnten Neusilberdrahtes geschlossen ist; die Erwärmung im Hauptdraht ist in diesem Fall 48 Procent von der, welche

man bei gleicher Ladung beobachter haben würde, wenn die Nebenſpirale vollkommen metalliſch geſchloſſen geweſen wäre; ſobald aber der Schließungsbogen des Hauptdrahtes durch Einſchaltung eines dünnen Drahtes verlängert wird, ändert ſich der Gang der verzögernden Wirkung des Nebendrahtes.

In der Hauptſchließung wurde ein Platindraht von 7″ 5‴ Länge und 0,023‴ Radius eingeſchaltet, und nun ergaben ſich die in folgender Tabelle zuſammengeſtellten Reſultate.

Nebenſpirale geſchloſſen durch Neuſilberdraht von der Länge	Erwärmung im Hauptdraht
0′	100
29,6	82
49,3	78
69	78
237	91
572	99.

Wie man ſieht, findet jetzt bei verlängerter Hauptſchließung das Maximum der Wirkung des Nebendrahtes erſt bei einer größeren Länge der Einſchaltung in die Nebenſpirale Statt, außerdem aber iſt die verzögernde Wirkung des Nebendrahtes jetzt viel geringer. Während bei der früheren Verſuchsreihe die Erwärmung im Hauptdrahte durch das Maximum der Wirkung der Nebenſpirale auf 48 Procent herabgebracht wurde, bewirkt jetzt das Maximum der Wirkung der Nebenſpirale nur eine Reduction auf 78 Procent derjenigen Erwärmung, welche man ohne Nebenſpirale, oder bei ganz vollkommener Schließung derſelben beobachtet haben würde.

Es iſt dies leicht zu erklären. Es wird ein um ſo ſtärkerer Nebenſtrom erregt, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt, und dem ſtärkeren Nebenſtrome müſſen wir auch eine ſtärkere Rückwirkung auf die Entladung zugeſtehn. In beiden Verſuchsreihen war es dieſelbe Länge des Hauptdrahtes, nämlich eine Länge von 13 Fuß Kupferdraht, welche auf eine gleiche Länge des Nebendrahtes einwirkte. Bei der erſten Verſuchsreihe machen dieſe 13′, bei weiten den größten Theil des Schließungsbogens der Batterie aus, bei der zweiten Verſuchsreihe war aber ein Platindraht eingeſchaltet, deſſen Verzögerungskraft gleich iſt der eines 568 Fuß langen, 0,55‴ dicken Kupferdrahtes, in dem letzten Falle wirkte alſo ungefähr nur der 44ſte Theil der Geſammtlänge des Hauptdrahtes auf die Nebenſpirale.

Rieß ließ noch zwei Spiralſcheiben machen, deren jede 53½ Fuß Ku-

pferdraht von $^2/_3$ Linie Dicke enthielt. In die Hauptſchließung wurde die große und die kleine Spirale eingeſchaltet.

War nun der kleinen Hauptſpirale die kleine Nebenſpirale in 2 Linien Entfernung gegenüber geſtellt, ſo fand das Maximum der verzögernden Wirkung der Nebenſpirale Statt, als ſie durch 29,6′ Neuſilberdraht geſchloſſen war. Bei dieſem Maximum der Wirkung der Nebenſpirale war die Erwärmung in der Hauptſchließung noch 76 Procent von derjenigen, welche man ohne Nebenſpirale oder bei vollkommner Schließung derſelben beobachtete.

Als die große Nebenſpirale der großen Hauptſpirale in 2 Linien Entfernung gegenüberſtand, fand das Maximum der verzögernden Wirkung des Nebendrahtes Statt, als derſelbe durch 79 Fuß Neuſilberdraht geſchloſſen war, und bei dieſer Schließung wurde die Erwärmung im Hauptdraht durch die verzögernde Wirkung der Nebenſpirale bis auf 25 Procent herabgebracht.

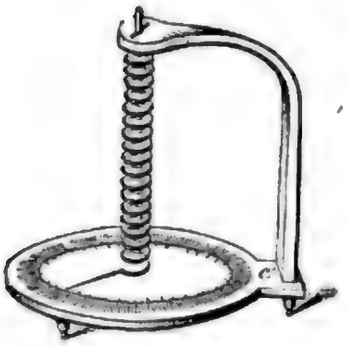
Endlich wurden die beiden Nebenſpiralen gehörig verbunden den beiden Hauptſpiralen gegenüber geſtellt, und nun mußten 138 Fuß Neuſilberdraht in die Nebenſchließung eingeſchaltet werden, um das Maximum der verzögernden Wirkung zu erhalten, und dabei die Erwärmung im Hauptdraht auf 20 Procent derjenigen herabgebracht, die man ohne Nebenſpirale beobachtet haben würde. Es folgt aus dieſen Verſuchen:

Das Maximum der Wirkung eines Nebendrahtes auf die elektriſche Entladung, welches durch Verlängerung der Nebenſchließung erreicht wird, iſt ein deſto größeres, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Zugleich iſt aber auch zur Erreichung dieſes Maximums eine um ſo längere Schließung des Nebendrahtes erforderlich.

Die Länge des Platindrahtes im Luftthermometer betrug bei dieſen Verſuchen 143,5 Linien. Der Platindraht im Thermometer, welcher ſehr lang iſt im Verhältniß zur ganzen Schließung, kann aber niemals vertheilend auf den Nebendraht wirken; um zu machen, daß ein möglichſt großer Theil des Hauptdrahtes auf die Nebenſpirale wirkt, müßte man den Draht im Thermometer verkürzen, wodurch allerdings die Wirkung des Hauptdrahtes auf den Nebendraht vermehrt, dagegen aber auch die Empfindlichkeit des Thermometers vermindert wird. Rieß wandte nun, um den Platindraht, welcher die Hauptſpirale ſchließt, mehr verkürzen zu können, ſtatt des Luftthermometers ein Berguet'ſches Metallthermometer an.

In der Axe einer empfindlichen thermometriſchen Spirale, ähnlich der in Fig. 63 abgebildeten, wurde ein gradliniger Platindraht von 61,5 Li-

Fig. 63.



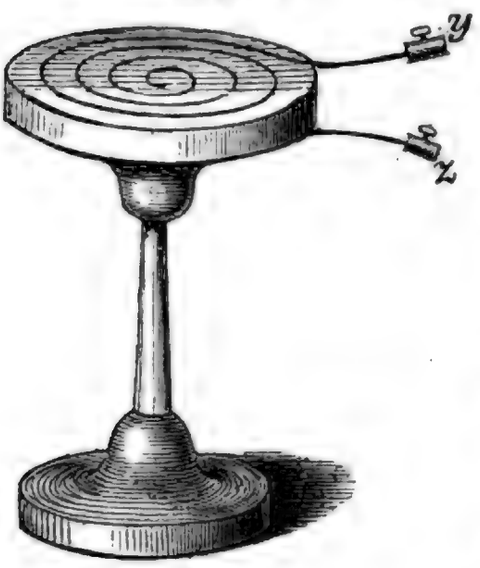
nien Länge und 0,04‴ Radius unverrückbar befestigt, und auf zweckmäßige Weise in den Schließungsbogen eingeschaltet. Das Instrument wird natürlich unter eine Glasglocke gestellt. Durch eine Batterieentladung wird der Platindraht in der Axe der Spirale erwärmt, er theilt diesen seine Wärme mit, der Zeiger durchläuft eine Anzahl Grade, kehrt aber sogleich wieder auf seinen früheren Stand zurück, weil die Abkühlung wegen des großen Volumens der Luft unter der Glocke rasch erfolgt.

Die Versuche mit dem Metallthermometer lehren nichts neues, ich glaube sie deßhalb nicht weiter anführen zu müssen, dagegen glaubte ich diese Beobachtungsmethode nicht unerwähnt lassen zu dürfen.

Richtung des elektrischen Nebenstromes. Um zu untersuchen, ob 66
die Richtung des Nebenstromes sich mit der Entfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht ändern, wandte Rieß folgende Methode an. (P. A. 51. 351.)

Bringt man zwischen den freien Enden der Nebenspirale einen Isolator an, welcher von der Elektricität nicht durchbrochen wird, so entsteht kein Nebenstrom. Nichtsdestoweniger ist das elektrische Gleichgewicht des Nebendrahtes durch den Act, welcher den Nebenstrom einleitet, zerstört worden, wie sich durch folgenden Versuch zeigen läßt.

Fig. 64.



Bringt man zwischen die freien Enden der Nebenspirale eine dünne Harzscheibe, so daß die beiden Drahtenden auf den entgegengesetzten Flächen einander gegenüberstehen, so zeigen sich nach der Entladung der Batterie durch den Hauptdraht die beiden Flächen der Harzscheibe auf das bestimmteste unterschieden. Es sind auf derselben eigenthümliche elektrische Figuren entstanden, zu deren Erkennung in den meisten Fällen ein leichtes Anhauchen der Fläche hinreicht. Will man die Figuren fixiren, so geschieht dies, wie es Lichtenberg gelehrt hat, durch Bepuderung derselben mit einem Gemenge von Schwefelblumen und Mennige. Auf der einen Fläche der Harzplatte entsteht hierdurch eine rothe Scheibe mit rother Kreiseinfassung, auf welcher ein dunkler (nicht bestäubter) Ring folgt, von welchem gelbe

Strahlen ausgehen. — Auf der anderen Fläche sind gelbe und rothe Kreissegmente sichtbar, die von einem breiten rothen Ring eingefaßt sind.

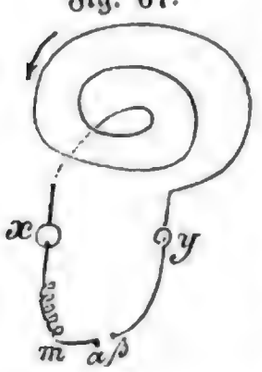
Fig. 65. Fig. 66.

Die Strahlen und der Ring nehmen mit der Stärke der elektrischen Erregung zu; nur bei sehr schwacher Erregung fehlen die Strahlen der ersten Figur, und eine einfache rothe Scheibe bleibt übrig, die indeß hinlänglich von der zweiten Figur unterschieden ist, in welcher stets der rothe Ring erkennbar bleibt.

Jede dieser Figuren ist aus den beiden Grundformen zusammengesetzt, die Lichtenberg als positive und negative unterschieden hat, man kann deshalb aus diesen Figuren noch nicht auf die Richtung des Nebenstromes schließen.

Bei den folgenden Versuchen waren die Enden der Nebenspirale durch Kupferdrähte verlängert, von welchen der eine zum Theil eine kurze, eng rechtsgewundene Schraube bildete. In Fig. 67 mögen x und y die Enden der Nebenspirale bezeichnen, an welchen die erwähnten Drähte ansitzen. Sollte eine Stahlnadel magnetisirt werden, so wurden die Drahtenden α und β metallisch verbunden, und eine Stahlnadel in die Schraube bei m eingelegt; um die Figuren auf der Harzscheibe zu erhalten, wurden dieselben zwischen α und β eingeschaltet. Die in der folgenden Tabelle erhaltenen Resultate wurden mit der eben erwähnten kleinen (aus 13 Fuß Kupferdraht bestehenden) Haupt- und Nebenspirale angestellt.

Fig. 67.



In der Hauptspirale ging der Entladungsstrom in der durch den Pfeil bezeichneten Richtung durch. Die folgende Tabelle zeigt nun, was für eine magnetische Polarität das Nadelende zeigte, als die Nadel in der Drahtschraube lag, und nach m gekehrt war.

Zwischen beiden Spiralen war eine Glastafel eingeschaltet.

Entfernung der Spiralen	Hauptdraht	Elektricitätsmenge	Polarität bei m
1‴		5	*N*
1		10	*N*
1	verlängert	10	*S*
1		30	*N*
1	verlängert	30	*S*
25		30	*N*
25	verlängert	30	*S*
39,5		30	*S*

Man sieht, daß bei gleicher Richtung des Hauptstromes der Magnetismus der Nadel doch mit den übrigen Umständen wechselte, woraus man eben auf eine verschiedene Richtung des Nebenstromes schloß. Als aber zwischen α und β die Harzscheibe eingeschaltet wurde, ergab sich, wenn die Entladung der Batterie durch die Hauptspirale unter allen den in der Tabelle angegebenen Umständen wiederholt wurde, daß die Fig. 65 stets auf der dem Drahtende β zugekehrt gewesenen Seite der Harzscheibe sich bildete, ein Beweis, daß die Richtung des Nebenstromes stets dieselbe bleibt, wie auch der Magnetismus der Nadel sich umkehren mag.

Zur Erzeugung der Figuren wandte Rieß eine kleine Glas- oder Kupferplatte an, welche auf beiden Seiten mit einem dünnen Ueberzug von schwarzem Pech oder Harz versehen waren.

Eine schon gebrauchte Harzfläche muß über einer Weingeistflamme bis zum Schmelzen erhitzt werden, ehe sie wieder angewendet werden kann.

Die Richtung des Nebenstromes, welche, wie schon bemerkt, sich nicht unmittelbar aus den Figuren auf der Harztafel bestimmen läßt, wurde folgendermaßen ermittelt. Zwei dreizöllige Condensatoren wurden durch eine dünne Glimmerplatte getrennt; die unteren mit dem Drahtende α berührt, dem oberen aber das Drahtende β genähert, so daß hier bei Entladung der Batterie ein kleiner bläulicher Funken überspringt. Nachdem die Batterie durch die Hauptspirale entladen worden war, wurde die obere Platte abgehoben und am Elektrometer geprüft. Bei positiver Ladung der Batterie wurde die von dem Drahtende β berührt gewesene Condensatorplatte negativ elektrisch gefunden. Die Strahlenfigur, Fig. 65, ist also stets von der mit negativer Elektricität geladenen Spitze erzeugt, und demnach hat also der Nebenstrom stets gleiche Richtung mit dem Hauptstrom.

Die Versuche, welche Rieß machte, die Richtung des Nebenstromes durch Zersetzung von Jodkalium zu ermitteln, schlugen fehl; es gelang nicht, eine Zersetzung durch den Nebenstrom zu erhalten (P. A. 47. 74).

Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität. Die 67
Windungen eines Multiplicators, welcher dazu dienen soll, durch einen Strom von Reibungselektricität eine Ablenkung der Magnetnadel hervorzubringen, müssen sehr gut isolirt seyn. Rieß (P. A. 40. 348) construirte einen solchen Multiplicator aus einem 105 Fuß langen, $\frac{1}{6}$''' dicken Kupferdraht, welcher dreifach mit Seide übersponnen und in 260 Windungen, die 5 Lagen bildeten, auf einen passenden Rahmen aufgewunden war. Bevor eine Drahtstrecke aufgewunden wurde, wurde sie erst zweimal mit Schellackfirniß überstrichen und dann die Aufwickelung vorgenommen, bevor noch der Firniß ganz trocken war. Jede Lage wurde noch einmal im Ganzen gefirnißt.

Die zugehörigen cylindriſchen, aſtatiſch combinirten Magnetnadeln waren 22,5‴ lang, 0,4 Linien dick und 5‴ von einander entfernt. Die combinirten Nadeln brauchten 6,6 Secunden zu einer Oscillation.

Wird das eine Drahtende eines ſolchen Multiplicators mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeug der Elektriſirmaſchine in leitende Verbindung geſetzt, ſo kann man beim Drehen derſelben eine Ablenkung von 10 bis 20 Grad erhalten.

Wenn durch den Entladungsſtrom der elektriſchen Batterie die Nadel abgelenkt werden ſoll, ſo muß man bekanntlich die Entladung durch Einſchaltung ſchlechter Leiter, feuchte Schnüre, mit Waſſer gefüllte Glasröhren u. ſ. w. verzögern.

Die neueſten Verſuche, welche Rieß über dieſen Gegenſtand anſtellte (P. A. 67. 535), ergaben das Reſultat, daß die Ablenkung einer Magnetnadel durch den Draht, welcher eine elektriſche Batterie langſam entladet, von der Oberfläche der Batterie unabhängig iſt, vorausgeſetzt, daß eine vollſtändige Entladung derſelben ſtattfindet; es iſt alſo für die Ablenkung der Nadel gleichgültig, ob dieſelbe Elektricitätsmenge auf eine oder mehrere Flaſchen vertheilt iſt.

Faraday hatte verſucht (Experimentalunterſuchungen, 363. P. A. 29), den Entladungsſtrom der Batterie mit dem eines Volta'ſchen Stromes zu vergleichen. Nachdem er durch eine Batterieentladung eine beſtimmte Ablenkung der Magnetnadel erhalten hatte, conſtruirte er ein Volta'ſches Element, welches, $3^1/_5$ Secunden wirkend, dieſelbe Ablenkung hervorbrachte, wie die Batterieentladung, und ſchloß, daß die von dem Element gelieferte Elektricitätsmenge der in der Batterie angehäuften gleich ſey.

Rieß macht, und zwar mit Recht, darauf aufmerkſam, daß dieſer Schluß wenig gerechtfertigt iſt, indem die momentane Wirkung des Entladungsſtromes der Batterie auf die Nadel weſentlich von der eines galvaniſchen Stromes verſchieden ſeyn muß.

Ich habe von den Rieß'ſchen Unterſuchungen berichtet, ohne den Gang der Darſtellung durch den Bericht über die Unterſuchungen zu unterbrechen, welche Andere über denſelben Gegenſtand anſtellten. Wenden wir uns jetzt zu dieſen Arbeiten.

68 **Knochenhauer's Arbeiten über den Nebenſtrom.** In einem zweiten Artikel, welcher ebenfalls die Ueberſchrift: »Verſuche über die gebundene Elektricität« führt (P. A. 58. 391), beſpricht Knochenhauer das Geſetz, nach welchem die Stärke des Nebenſtromes abnimmt, wenn die Entfernung des Hauptdrahtes wächſt.

Rieß hat, wie bereits Seite 150 angeführt wurde, gezeigt, daß die Stärke des Nebenſtromes in demſelben Verhältniß abnimmt, in welchem die Axenentfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht wächſt.

Knochenhauer meint, dies Gesetz sey »augenscheinlich unzureichend«. Wahrscheinlich von der Idee ausgehend, daß der Nebenstrom auch ein Phänomen der Bindung sey, sucht Knochenhauer sein auf Seite 45 bereits angeführtes Gesetz auch hier in Anwendung zu bringen.

Daß ein Gesetz, zwischen Wirkung und Entfernung, welches für den Fall kugelförmiger Körper paßt, bei denen man alle Wirkung als von einem Punkte ausgehend betrachten kann, nicht zugleich für parallel nebeneinander herlaufende Drähte gelten könne, hindert Hrn. Knochenhauer nicht daran. — Sein Gesetz hat eine so bewundernswürdige Elasticität, daß es durch bloße Veränderung der constanten Factoren auch für den Nebenstrom paßt; nach seiner Meinung besteht zwischen der Stärke des Nebenstromes (durch den Luftthermometer gemessen) und der Entfernung der Drähte ebenfalls die Beziehung

$$\Theta = A\, a^{\sqrt{n}},$$

wo Θ die Erwärmung des Thermometers im Nebendraht, n die Entfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht bezeichnet.

Dieses n ist aber nicht die Axenentfernung, sondern die Entfernung der Drähte im lichten, wobei er als Einheit 3‴ annimmt, die Größe von n ist also aus den von Rieß gegebenen Axenentfernungen d erst zu berechnen.

Zunächst vergleicht er seine Formel mit den von Rieß gefundenen Resultaten. Die Resultate einer Beobachtungsreihe von Rieß stellt er in der folgenden Tabelle mit den nach seiner Formel berechneten Werthen zusammen.

d	Θ beobachtet.	d berechnet.	Differenz.
2,71‴	0,216	0,219	+ 0,003
6,78	0,145	0,143	— 0,002
11,24	0,119	0,104	— 0,015
16,01	0,081	0,079	— 0,002
19,61	0,066	0,066	0,000
23,87	0,054	0,055	+ 0,001

In der That stimmen die beobachteten und die nach obiger Formel berechneten Werthe ganz genügend, wenn man $A = 0{,}401$, $a = 0{,}4897$

ſetzt. Ja, die Formel ſtimmt auch noch für ganz geringe Entfernungen der Drähte, für welche aus begreiflichen Gründen das Rieß'ſche Geſetz nicht mehr gelten kann.

Spricht aber nicht dieſe wirklich genügende Uebereinſtimmung der Knochenhauer'ſchen Formel mit der Beobachtung für die Richtigkeit derſelben? Gewiß nicht. Wenn man über zwei Conſtante zu disponiren hat, ſo laſſen ſich mit Leichtigkeit eine ganze Maſſe Formeln auffinden, die daſſelbe leiſten, d. h. die ſich den wenigen und innerhalb ſo enger Grenzen beobachteten Zahlen ebenſo eng anſchließen. Als Beleg führe ich

$$\Theta = A + b \log. d,$$

die erſte beſte willkürliche Formel an, die mir in den Sinn kam; in dieſer Formel ſollen Θ die Erwärmung im Nebendraht, d die Axenentfernung der Drähte bezeichnen. Setzt man hier $A = 0{,}276$, $b = 0{,}16$, ſo ſchließt ſich dieſe Formel den Rieß'ſchen Beobachtungen eben ſo gut an, wie den Knochenhauer'ſchen, wie man aus folgender Tabelle ſieht, in der die dritte Vertikalreihe die nach der Formel $\Theta = A + b \log. d$ berechneten Werthe enthält.

d	d beobachtet.	d berechnet.	Differenz.
2,71‴	0,210	0,207	— 0,003
6,78	0,145	0,143	— 0,002
11,24	0,119	0,107	— 0,012
16,01	0,081	0,084	+ 0,003
19,61	0,066	0,069	+ 0,003
23,87	0,054	0,056	— 0,002

Trotz dieſer Uebereinſtimmung zwiſchen Beobachtung und Rechnung kann aber dieſe Formel gewiß eben ſo wenig wie die Knochenhauer'ſche Anſpruch darauf machen, das Geſetz auszudrücken, nach welchem die Stärke des Nebenſtromes mit der Entfernung vom Hauptdraht abnimmt.

Knochenhauer hat ſelbſt eine Reihe von Verſuchen angeſtellt, welche ſeine Formel beſtätigen ſollen, und durch welche er zeigen will, daß die Größe des Factors a von der Leitungsfähigkeit der Hauptſchließung, der Nebenſchließung u. ſ. w. abhängt. Die Beſchreibung der Art und Weiſe, wie die Verſuche angeordnet, wie die Drähte geſpannt waren u. ſ. w., iſt höchſt undeutlich, und da ich die Unzuläſſigkeit der Knochenhauer'ſchen Formel nachgewieſen zu haben glaube, möchte wohl eine weitere Beſprechung dieſer Verſuche unnöthig ſeyn.

Diese Abhandlung bildet den Uebergang zu weiteren Untersuchungen, die sich mit dem Nebenstrom und dem Strom in verzweigten Schließungsbogen beschäftigen. Folgendes sind die Titel der hierhergehörigen Abhandlungen:

Ueber den Nebenstrom im getheilten Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 60—70 u. 235.

Ueber die elektrischen Ströme im getheilten Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 61. 55.

Ueber die Schwächung des Hauptstromes bei getheiltem Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 62. 353.

Ueber den Zusammenhang der Formeln, welche die Wärmeentwickelung durch den elektrischen und den galvanischen Strom bestimmen. P. A. 62. 207.

Versuche über den elektrischen Nebenstrom. P. A. 64. 64 und P. A. LXVI. 235.

Bestimmung der compensirten Drahtlängen ohne Luftthermometer. P. A. LXVII. 327.

Lösung des kürzlich über die Verzweigung galvanischer Ströme aufgestellten Problems für den Entladungsstrom der elektrischen Batterie. P. A. LXVIII. 136.

Ueber die Spannungsverhältnisse beim Ladungsstrom der elektrischen Batterie. P. A. LXIX. 77.

Ueber den Vergleich der elektrischen Formeln mit den galvanischen. P. A. LXIX. 421.

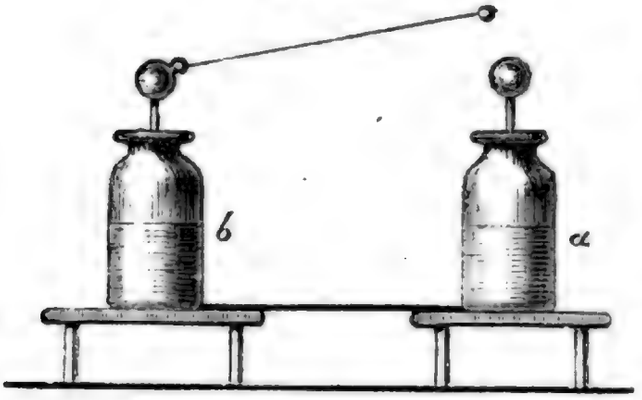
Die in diesen Abhandlungen besprochenen Versuche sind schlecht beschrieben; die Betrachtungen, schwülstig, verworren und voll schwerfälliger Formeln, führen nicht zu einfach klar und bestimmt hingestellten Resultaten.

Sollte in dem Chaos der erwähnten Abhandlungen wirklich ein entwickelungsfähiger Kern enthalten seyn, so wird sich Herr Knochenhauer wohl entschließen müssen, ihn seiner nebelhaften Umgebung zu entrücken und besser ins Licht zu setzen, wenn er demselben Anerkennung verschaffen will.

Da es der Zweck dieses Berichtes ist, dem Leser die Fortschritte der Physik darzulegen, nicht aber ihn mit der Kritik unfruchtbarer Arbeiten zu belästigen, so glaube ich die Abhandlungen Knochenhauers über den Nebenstrom und verwandte Gegenstände nicht weiter besprechen zu müssen. Die Kritik der oben näher besprochenen Abhandlungen wird genügen, mich in dieser Beziehung zu rechtfertigen.

69 **Ladungsstrom der elektrischen Batterie.** In Fig. 68 stellen *a* und *b* zwei elektrische Batterien dar, welche beide isolirt sind. Die äußeren Belegungen beider Batterien seyen in metallischer Verbindung, *a* sey geladen, *b* sey ungeladen.

Fig. 68.



Wenn nun irgend ein passender Auslader, welcher dem Knopfe der ungeladenen Flasche *b* anliegt, dem Knopfe der geladenen Flasche genähert wird, so wird ein Funken überspringen, die Flasche *a* wird theilweise entladen, ein Theil der (wie wir annehmen wollen, positiven) Elektricität, welche auf der inneren Belegung von *a* angehäuft war, strömt unter Funkenbildung auf die innere Belegung von *b* über, während durch die leitende Verbindung der äußeren Belegungen eine entsprechende Menge negativer Elektricität ohne Funkenbildung von *a* nach *b* überströmt.

Auf diese Weise nun wird *a* theilweise entladen, *b* dagegen geladen; die Ladung von *b* ist nicht wie bei gewöhnlicher Flaschenladung eine allmälige, sondern eine sehr rasche. Dove nennt nun den Strom, welcher von der äußeren Belegung von *a* zur äußeren Belegung von *b* überströmend, letztere Batterie ladet, den Ladungsstrom, und hat die Wirkungen dieses Ladungsstromes mit den Wirkungen des schon mehrfach untersuchten Entladungsstromes (Entladungsschlages) verglichen. Er fand folgende Resultate (P. A. LXIV. 81).

1) Induction. In den äußeren Verbindungsdraht wurde eine cylindrische Inductionsspirale eingeschaltet, welche äußerlich von einer Nebenspirale umgeben war. Die Wirkungen waren dieselben, wie beim Entladungsschlag.

2) Funken. Unterbricht man den äußeren Verbindungsdraht, so entsteht in dem Moment, in welchem der Funke am inneren Verbindungsdraht überspringt, an der Unterbrechungsstelle des äußeren ein weißglänzender schallender Funke. Schaltet man in den inneren Verbindungsdraht einen nassen Faden ein, so nimmt der Funke hier eine rothgelbe Farbe an und tönt schwach; dieselbe Veränderung zeigt sich dann auch an der Unterbrechungsstelle des äußeren Verbindungsdrahtes, in welchem kein nasser Faden eingeschaltet ist.

Dove fand ferner, daß der Ladungsstrom

3) galvanometrische Wirkungen,

4) Magnetisiren des Stahls,
5) physiologische Wirkungen,
6) Durchbohren schlechter Leiter,
7) Erwärmung

in derselben Weise hervorbringt, wie den Entladungsstrom.

Die Nadel eines Galvanometers, welches in den Verbindungsdraht der äußeren Belegungen eingeschaltet ist, wird nicht afficirt, wenn die inneren Belegungen ohne eingeschalteten nassen Faden durch einen weißen schallenden Funken in metallische Verbindung treten, hingegen sehr deutlich, wenn in den Verbindungsdraht der inneren Belegungen ein nasser Faden eingeschaltet ist. Das Magnetisiren einer in einer Spirale enthaltenen Stahlnadel erfolgt im ersteren Falle (ohne Einschaltung) kräftig, im zweiten Falle (mit Einschaltung) sehr schwach.

Den Inhalt eines von Dove verfaßten Aufsatzes in Poggendorff's Annalen (LIV. 305), welcher den Titel führt: »Ueber die durch Magnetisiren des Eisens vermittelst Reibungselektricität inducirten Ströme,« kann erst später berichtet werden, weil dieser Gegenstand in zu inniger Beziehung mit später zu besprechenden Wirkungen des galvanischen Stromes steht.

Hankel's Untersuchungen über die Magnetisirung von Stahlnadeln durch den Entladungsfunken einer elektrischen Batterie. 70
Hankel hat zwei große Abhandlungen über diesen Gegenstand publicirt (P. A. LXV. 537., LXIX. 321). In der ersten bespricht er zunächst die Beobachtungen Savary's, und geht dann zur Beschreibung seiner eigenen Versuche über, aus denen sich folgende Resultate ergeben.

1) Wenn der Entladungsschlag durch eine Spirale geht, in welcher eine Stahlnadel liegt, so ist ein bestimmtes Minimum der Ladung nöthig, um überhaupt die Nadel zu magnetisiren; nennen wir die Polarität, welche sie durch den Entladungsschlag dieses Minimums annimmt, die normale, so wird bei allmälig verstärkten Entladungsschlägen die Nadel anomal magnetisch, bei noch stärkerer Ladung wieder normal u. s. w. — Die anomale Magnetisirung tritt nun erst bei um so stärkeren Ladungen der Batterie auf, je längere Drahtstücke man in den Schließungsbogen der Batterie einschaltet.

Als außer der Spirale selbst und den bei allen Versuchen gleichbleibenden Stücken des Schließungsbogens 34′ Eisendraht von 0,1 Linien Dicke eingeschaltet war, ergab sich die anomale Magnetisirung bei einer Ladung 70 (gemessen durch Funken der Maßflasche), bei einer Einschaltung von 82 Fuß desselben Drahtes, bedurfte es dazu einer Ladung 120, bei einer Einschaltung von 154′ einer Ladung 160.

2) Wenn bei gleichem Schließungsbogen einmal eine Batterie von mehr,

und dann eine von weniger Flaſchen angewendet wird, ſo bringt die Batterie von geringerer Flaſchenzahl die anomale Periode ſchon bei geringerer Ladung hervor.

Als 202 Fuß Eiſendraht in den Schließungsbogen eingeſchaltet waren, brachte ſchon eine Ladung 20 auf zwei Flaſchen eine anomale Magnetiſirung hervor, während man ſie bei Anwendung von 5 Flaſchen erſt bei einer Ladung 70 erhielt, und bei Anwendung von 9 Flaſchen ſelbſt die Elektricitätsmenge 230 noch keine anomale Magnetiſirung erzeugte.

Wenn man bei allmälig wachſenden Ladungen auch nicht immer die Abwechſelungen zwiſchen normaler und anomaler Magnetiſirung erhält, ſo fehlen deshalb dieſe Perioden nicht ganz, denn man beobachtet eine Zu- und Abnahme in der Stärke des normalen Magnetismus und die Minima der normalen Magnetiſirung entſprechen hier den anomalen Perioden.

Hankel wendet ſich nun zur Erklärung dieſer Erſcheinung, wobei er folgende Idee zu Grunde legt.

»Es iſt durch Faraday's Verſuche bekannt, daß ein Strom bei ſeiner »Entſtehung in einem nahe gelegenen Leiter einen Strom erregt, welcher »ihm entgegengeſetzt iſt, beim Verſchwinden dagegen einen zweiten, welcher »dem urſprünglichen gleichlaufend iſt. Beide Wirkungen muß auch der »elektriſche Funken auf eine in ſeiner Nähe befindliche Stahlnadel aus»üben. Da die Nadel ſenkrecht gegen ſeine Richtung liegt, ſo ſind die »Ebenen der in der Nadel erregten Ströme ebenfalls ſenkrecht auf die »Länge der Nadel, und die Magnetiſirung der Nadel wird gerade die ent»gegengeſetzte ſeyn, je nachdem wir ſie durch die Wirkung des Anfangens, »oder blos des Aufhörens des Funkens uns erzeugt denken. Nun folgen »aber die beiden Momente des Anfangs und des Endes beim elektriſchen »Funken ſo ſchnell auf einander, daß ihre Wirkungen geſondert nicht ge»meſſen werden können; es iſt alſo die Magnetiſirung das Reſultat dieſer »beiden Einflüſſe«.

Es iſt dies im weſentlichen die Grundidee, auf welche auch Wrede (Berzelius Jahresbericht, deutſch von Wöhler, 20ſter Jahrgang, S. 119.), die abwechſelnd normale und anomale Magnetiſiruug von Stahlnadeln durch den Entladungsſchlag, ſowohl im Haupt-, als auch in einem Nebendraht zurückzuführen verſucht hat.

Wie ſchon Rieß andeutet (Dove's Repertorium VI. 218) gehört dieſes Erklärungsprinzip vor der Hand doch nur noch in das Gebiet der Vermuthungen. Es iſt möglich, daß dies der naturgemäße Hergang der Magnetiſirung von Stahlnadeln durch den Entladungsſchlag ſey, aber keineswegs bewieſen.

Im ganzen klingt dies Erklärungsprinzip wohl ganz plauſibel, allein

die Ableitung der Einzelnheiten der Erscheinung ist keineswegs überzeugend, so weitläufig sich auch Hankel darüber ausspricht. Man wird diesen Gegenstand doch wohl noch als eine offen stehende Frage zu betrachten haben, und es wird deshalb wohl gerechtfertigt erscheinen, wenn wir uns nicht länger dabei aufhalten.

Rieß spricht sich an der angeführten Stelle von Dove's Repertorium dahin aus, daß es besser und für die Wissenschaft förderlicher sey, die Mangelhaftigkeit unserer Kenntnisse offen einzugestehen, als sich mit halben Erklärungen zu behelfen und ihre Mängel zu bemänteln, und citirt hierbei eine Stelle aus Franklin's Briefen, welche jeden Naturforscher wohl beherzigen sollte; sie heißt

»I find, a frank aknowledgment of one's ignorance is not only the easiest way to get rid of a difficulty, but the likeliest way to obtain information; I think it a honest policy«.

In der zweiten Abhandlung bespricht Hankel folgende Punkte.

1) Die Anzahl und Größe der schon in der ersten Abhandlung erwähnten Magnetisirungsperiode.

2) Die Einwirkung verschiedener Spiralen.

3) Die Einwirkung des Schließungsdrahtes auf sich selbst.

4) Den Einfluß der Dicke der Nadeln.

5) Den Einfluß der Oberfläche der Batterie.

6) Die Aenderungen der Wechsel durch eingeschaltete Widerstände.

7) Einen besonderen, von der Leitungsfähigkeit gänzlich verschiedenen Einfluß einzelner Metalle.

Betrachten wir diese Punkte einzeln der Reihe nach.

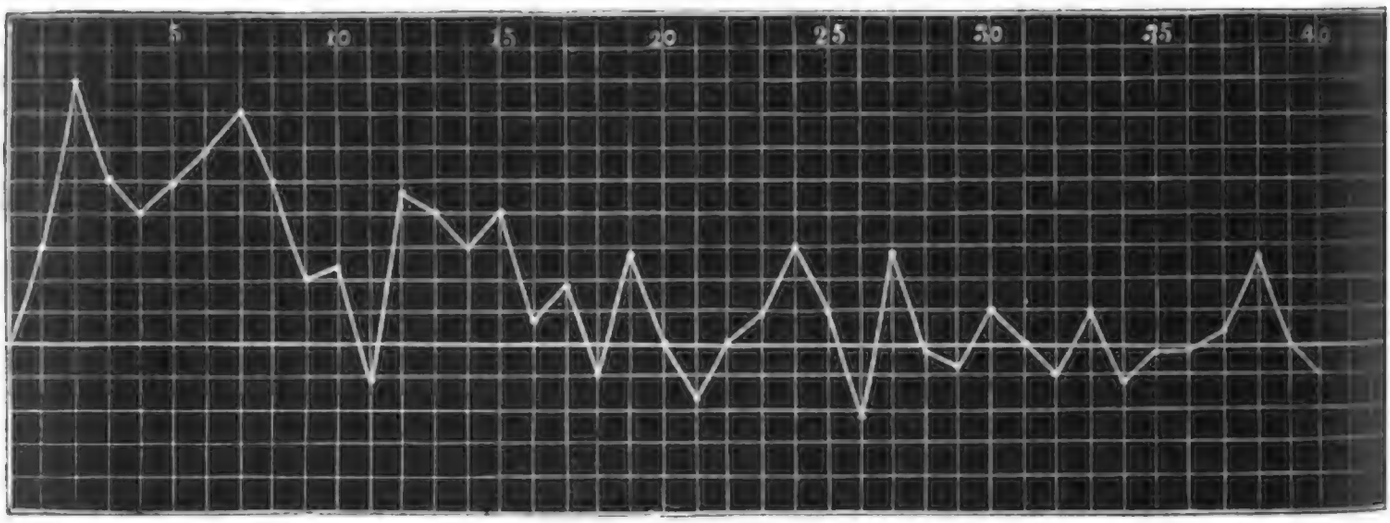
1) Als Magnetisirungsspirale wirkte eine Silberdrahtspirale von so engen Windungen, daß die eingeschobene Nadel 31 Windungen bedeckte. Die Ladung der Batterie wurde immer um 1 Funken der Maßflasche vermehrt, und durch die Entladung derselben immer eine neue Nadel magnetisirt; die Stärke des ihr durch den Entladungsschlag mitgetheilten Magnetismus wurde alsdann die Zeit ermittelt, welche die Nadel brauchte, um eine bestimmte Anzahl Schwingungen zu machen. Außer der Spirale befand sich noch 2,63 Meter eines 1,2966^{mm} dicken Kupferdrahtes in den Schließungsbogen.

Hankel machte auf diese Weise eine Versuchsreihe, deren Resultate in Fig. 69 (a. f. S.) graphisch dargestellt sind. Die Abscissen sind der Stärke der Batterieladung, die Ordinaten der Stärke der entsprechenden Magnetisirung proportional. Die Ordinaten über den Horizontalen 0 entsprechen normaler, die nach unten gerichteten Ordinaten anomaler Magnetisirung

Diese Kurve macht nun keineswegs den Eindruck einiger Regelmäßigkeit,

vielmehr ſcheint ein etwaiges Geſetz ſehr durch Zufälligkeiten, deren man nicht Rechnung zu tragen im Stande iſt, maskirt zu ſeyn. In ſolchen

Fig. 69.



Fällen aber läßt ſich das Geſetz nur durch Mittelzahlen darſtellen, die aus zahlreichen Verſuchen abgeleitet ſind.

Hankel ſagt nun, er habe bei dieſer kürzeſten Drahteinſchaltung wiederholte Verſuche angeſtellt, um die Lage der anomalen oder der gleich bedeutenden ſchwach normalen Perioden zu beſtimmen und aus allen dieſen Verſuchen das Reſultat gewonnen, daß dieſelben für dieſelbe Nadelſorte, für die von ihm gebrauchte Batterie von 9 Flaſchen ſich bei den folgenden Ladungen finden.

3. 6. 9. 11. 14. 16. 18. 21. 23. 26.
29. 32. 36. 40.

Wenn nun Hankel ſagt, »man ſieht, daß dieſer Wechſel in der Polarität regelmäßig wiederkehre«, ſo muß ich geſtehen, daß ich in dieſer Zahlenreihe wenigſtens die Regelmäßigkeit eben noch nicht ſehr rein ausgeſprochen finde. Er ſagt zwar weiter: dieſe Regelmäßigkeit hätte ſich durch Einführung von Bruchwerthen noch ſchärfer darlegen laſſen, allein er habe dieſelbe abſichtlich vermieden, da er ſie nicht genau meſſen, ſondern nur hätte abſchätzen können.

Was ſoll das aber heißen; iſt denn die oben erwähnte Zahlenreihe nicht das Mittel aus mehreren unter denſelben Bedingungen angeſtellten Verſuchsreihen? Wenn aber dies der Fall iſt, warum Anſtand nehmen Bruchtheile einzuführen. Mittelwerthe ſind ja überhaupt nur berechnete, nicht beobachtete.

Um den Leſer es möglich zu machen, ſich ein Urtheil über den Werth der Reſultate zu bilden, hätte Hankel jedenfalls mittheilen ſollen, wie er zu der Zahlenreihe 3, 6, 9, 11 u. ſ. w. gekommen iſt, er hätte die einzelnen Verſuchsreihen mittheilen müſſen, damit man beurtheilen könne,

Digitized by Google

wie weit sich die einzelnen Versuchsreihen durch zufällige Störungen vom Mittel entfernen.

2. Die oben, Figur 69, graphisch dargestellte Versuchsreihe wurde nun mit zwei anderen verglichen, bei denen nur die Spirale in der Weise in die Länge gezogen war, daß die Länge der Nadel bei der zweiten nur 28, bei der dritten nur $11\frac{1}{2}$ Windungen bedeckte. Es ergab sich im Allgemeinen, daß sich die Perioden in dem Maaße verlängern, als die Nadel weniger Windungen bedeckt.

3. Wie wir oben gesehen haben, hat Rieß den Satz aufgestellt, daß bei der Entladung der Batterie kein Theil des Schließungsdrahtes vertheilend auf den andern wirkt. — Hankel bestreitet diesen Satz. Er schließt das Gegentheil aus folgenden Versuchen.

Eine Kupferspirale von etwas großem Durchmesser war von einer ähnlichen Spirale umgeben, und man konnte die beiden Spiralen nach Belieben so verbinden, daß der Entladungsschlag beide nach gleicher oder nach entgegengesetzter Richtung durchlaufen müßte *). Außer dieser Spirale war noch eine Magnetisirungsspirale in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet. Vergleicht man nun den Gang der Magnetisirungsperiode für die beiden Verbindungsarten der Spiralen miteinander, so stimmen sie nicht überein, und daraus schließt Hankel, daß allerdings eine Einwirkung der Wirkungen auf einander stattfände.

Wenn man auch zugiebt, daß die Rieß'schen Versuche noch nicht genügen, den von ihm aufgestellten Satz zu begründen, so sind doch die Hankel'schen noch weniger geeignet, ihn umzustoßen, denn das gesetzmäßige in den Magnetisirungserscheinungen durch den Entladungsschlag, der Einfluß der Zufälligkeiten, ist durchaus noch nicht genügend nachgewiesen, um aus der Nichtcoincidenz zweier solcher Versuchsreihen einen sichern Schluß ziehen zu können.

Die Verschiedenheiten, welche sich in der Magnetisirung von Stahlnadeln ergeben, je nachdem ein langes Drahtstück entweder geradlinig ausgespannt, oder spiralförmig aufgewunden in den Schließungsbogen eingeschaltet ist, wollen wir später unter Nro. 6 näher betrachten.

4. Im Allgemeinen scheinen, wie Hankel aus seinen Versuchen schließt, bei dickeren Nadeln die Erscheinungen nicht geändert zu werden, nur treten die anomalen Perioden erst bei stärkeren Ladungen ein, und scheinen auch an Stärke verloren zu haben.

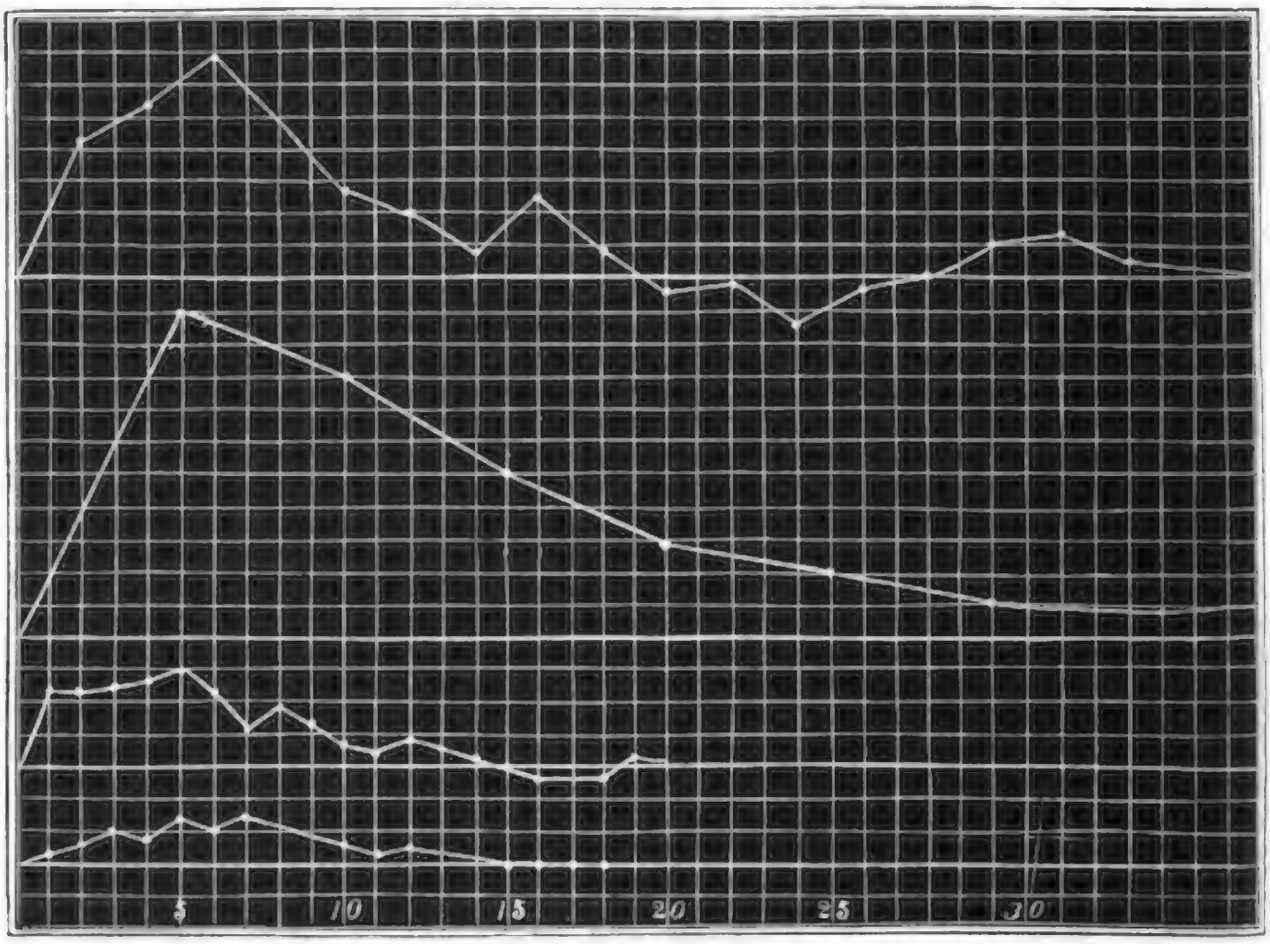
5. Neue Versuche über den Einfluß der Oberfläche der Batterie erga-

*) Hankel giebt die Drahtdicke bis auf Hunderttausentel Millimeter genau an; mir scheint dies für die übrigen Verhältnisse dieser Versuchsreihen ziemlich unnöthige Genauigkeit.

ben, übereinſtimmend mit den früheren Verſuchen, daß eine Verkleinerung der Batterieoberfläche die anomalen Perioden auf immer kleinere Ladungen zurückführt, aber dieſelben zugleich ſo verkürzt, daß ſie bei einer gewiſſen Größe der Batterie aufhören als anomale Magnetiſirungen zu erſcheinen; man beobachtet alsdann nur noch ſtarke und ſchwache normale Perioden.

6. Außer der kürzeſten Einſchaltung, mit welcher die in Fig. 69 dargeſtellten Reſultate erhalten wurden, machte Hankel noch Verſuchsreihen nach Hinzufügung von geradlinig ausgeſpannten 0,23^{mm} dicken Kupferdrähten, deren Länge zwiſchen 0,375 und 96,4 Meter Länge geändert wurde. Die Kurven 1 und 2, Fig. 70, ſtellen die Reſultate dar, welche er für Einſchaltungen von 12 und von 96,4 Meter Länge erhielt. Dieſe Kurven ſcheinen anzudeuten, daß bei längeren Einſchaltungen die einzelnen kleineren Perioden mehr verſchmelzen, bis endlich nur eine große normale Periode mit ſtarker Magnetiſirung beobachtet wird, auf

Fig. 70.



welche eine ſehr breite negative Periode (von 30 bis 100) folgt, in der jedoch nur noch eine ſehr ſchwache Magnetiſirung beobachtet wird.

In Beziehung auf das Verſchwinden der kleineren Perioden erlauben aber, meiner Anſicht nach, dieſe Verſuche doch keinen ſichern Schluß, weil

die Ladung der Batterie bei den längeren Einschaltungen immer von 5 zu 5, bei den mittleren von 2 zu 2 vermehrt wurde, während sie bei der kürzesten Einschaltung nur immer um 1 wuchs. Wo liegt eine Garantie, daß bei den längeren Drahtwindungen nicht einzelne Perioden übersprungen wurden. Hankel übergeht diesen Punkt mit Stillschweigen.

Was den Einfluß der Windungen betrifft, vergleicht Hankel das Resultat, welches Fig. 70 durch die zweite Kurve dargestellt ist, mit denjenigen, welche 103 Meter desselben Drahtes zu 70 Spiralwindungen aufgewunden geben. Während beim geraden Drahte eine normale Periode bis 30 geht, und auf diese eine große schwache negative folgt, beobachtete er bei den aufgewundenen noch 3 normale und 3 anomale Perioden.

Als 26 Meter eines sehr dicken (30,76 Quadratmillimeter Querschnitt) viereckigen Kupferdrahtes eingeschaltet wurden, zeigte sich in der Lage der Perioden keine Veränderung, nur waren sie im allgemeinen schwächer geworden. Als außerdem noch 113 Meter eines runden 1,3^{mm} dicken Drahtes geradlinig ausgespannt, eingeschaltet wurden, ergaben sich die Fig. 70 in der dritten Kurve dargestellten Resultate. Es verschwanden fast alle Umkehrungen, die Nadeln zeigten sich nur schwach magnetisch.

Als 94 Meter des dicken Drahtes spiralförmig aufgewunden in den Schließungsbogen eingeschaltet wurden, ergaben sich die in der 4ten Kurve der Fig. 70 dargestellten Resultate. Die Schwächungen der Magnetisirung zeigen sich hier bei dem dicken spiralförmig aufgewundenen Drahte noch auffallender als bei dem dicken gerade ausgespannten.

Anscheinend ist der Einfluß der Windungen bei dem dicken und dünnen Kupferdraht ein sehr verschiedener; dessen ungeachtet, sagt Hankel (Seite 336 seiner 2ten Abhandlung), ist aber der Einfluß in beiden Fällen derselbe. Die Betrachtungen, durch welche er dies nachzuweisen versucht, sind mir unverständlich; überhaupt kann ich Hankels Raisonnements keineswegs klar und präcis nennen.

7. Auffallende Erscheinungen zeigte die Einschaltung von Eisendrähten, welche anomale Perioden von sehr bedeutender Stärke hervorbringen. Besonders auffallend fand dies Hankel bei dicken langen Eisendrähten. Während ein dicker Kupferdraht die Magnetisirungen ausnehmend schwächt, so werden sie durch einen dicken Eisendraht bedeutend verstärkt. Bei Einschaltung eines 1,27^{mm} dicken, 131 Meter langen Eisendrahtes ergab sich z. B. für die Ladung 6 ein normales Maximum 11, für die Ladung 36 eine anomale Magnetisirung von der Stärke $9\frac{1}{2}$, wenn man die Magnetisirungsstärke nach der Einheit mißt, welche bei der Construction der oben mitgetheilten Kurven zu Grunde gelegt wurde.

Leidner Flaschen von dickem Glase. Winter in Wien verfer- 71
tigt Leidner Flaschen, welche eine viel bedeutendere Schlagweite haben, als

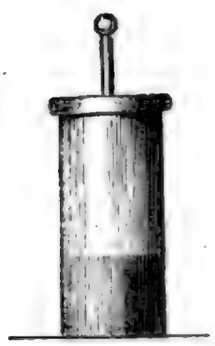
gewöhnlich, und er erreicht dies dadurch, daß er Gefäße mit sehr dicken (über 1 Linie dicken) Glaswänden zur Construction dieser Flaschen benutzt, und daß der unbelegte Rand sehr groß ist.

Durch die Größe des unbelegten Randes wird die Selbstentladung, durch die Dicke des Glases die Durchbrechung desselben möglichst verhindert; bei einer solchen Flasche kann also die Spannung der freien Elektricität auf die innere Belegung eine weit stärkere Spannung erreichen, als bei gewöhnlichen dünnglasigen Flaschen, bei welchen, wenn nicht eine Selbstentladung erfolgt, ein Durchschlagen des Glases zu befürchten ist.

Wegen der größeren Dicke des Glases ist die gegenseitige Bindung der entgegengesetzten Elektricitäten beider Belegungen weniger vollständig, als bei dünnerem Glase; bei gleicher Größe der Belegungen und bei gleicher Dichtigkeit der freien Elektricität auf der inneren Belegung wird also in der dickglasigen Flasche weniger Elektricität angehäuft seyn, als auf der dünnglasigen; im Allgemeinen ist also die Menge der Elektricität, welche eine dickglasige Flasche aufnehmen kann, geringer, aber die Spannung der freien Elektricität auf der inneren Belegung und in Folge dessen auch die Schlagweite größer.

Es läßt sich erwarten, daß mit der größeren Schlagweite auch andere Wirkungen des Entladungsschlages eine Veränderung erleiden werden. Alle Wirkungen des Entladungsschlages, bei denen es vorzugsweise darauf ankommt, daß eine große Menge von Elektricität durch einen Körper hindurchgeführt wird, können besser mit größeren dünnglasigen Flaschen hervorgebracht werden, wo es aber gleichsam mehr auf die Stärke des Stoßes ankommt, da wendet man besser dickglasige Flaschen an; es schien mir demnach wahrscheinlich, daß die Durchbohrung von Glasplatten mit dickglasigen Flaschen weit leichter gelingen müsse, als mit gewöhnlichen dünnglasigen. — Der Erfolg bestätigte meine Erwartung vollkommen. Während mir früher mit dünnglasigen großen Flaschen dieser Versuch nicht immer mit Sicherheit gelang und stets eine sehr große Anzahl von Umdrehungen der Maschine nöthig waren, um die Batterie zum Durchschlagen des Glases hinlänglich zu laden, gelingt er mir jetzt jedesmal mit einer dickglasigen Flasche, die mit 20 Umdrehungen einer sehr mittelmäßigen Elektrisirmaschine geladen ist.

Fig. 71.



Die Glasdicke dieser Flasche, Fig. 71, beträgt ungefähr 1 Linie; jede Belegung hat ungefähr 9 Quadratdecimeter Oberfläche und der unbelegte Rand hat eine Höhe von 22 Centimeter.

Ich habe den Einfluß der Glasdicke auf die Wirkungen des Entladungsschlages nicht näher studirt, und theile diese Notizen nur mit, um die Aufmerksamkeit

anderer Physiker auf diesen Punkt zu richten. Es wäre sehr zu wünschen, daß Rieß diesen Gegenstand aufgriffe, da er bereits auf diesem Felde mit so allgemein anerkanntem Erfolge gearbeitet hat.

Elektrische Zeichnungen. Durch Elektricität kann man auf der 72
Oberfläche verschiedener Körper Figuren hervorbringen, welche entweder schon direct sichtbar sind, oder welche durch Bestäuben oder Anhauchen erst sichtbar werden. Ueber diese Erscheinungen, von denen die Lichtenbergischen Figuren die bekanntesten sind, hat Rieß eine ausgedehnte Versuchsreihe angestellt (P. A. 69. 1) und die Umstände sehr genau ermittelt, unter welchen diese Figuren und Bilder entstehen.

Rieß theilt sie ein in primär elektrische Zeichnungen, welche dadurch entstehen, daß verschiedene Stellen der Oberfläche schlecht leitender Substanzen in ungleich elektrischen Zustand versetzt werden, welche dann durch Bestäubung sichtbar gemacht wird, und

Secundär elektrische Zeichnungen, welche erzeugt werden, wenn durch elektrische Entladung diejenige fremde Schicht, die in der Regel alle Körper überzieht, verändert wird; in diesem Falle erscheinen die Zeichnungen durch Behauchung der Platte, oder es entstehen unmittelbar sichtbare Zeichnungen, wenn die Oberfläche der Körper selbst irgendwie angegriffen wird.

Betrachten wir zuerst die durch Bepulverung sichtbar werdenden elektrischen Zeichnungen.

Staubfiguren. Um die Lichtenbergischen Figuren zu erzeugen, 73
wandte Rieß quadratische Kupferbleche an, die entweder nur auf der einen oder auch auf beiden Seiten etwa $\frac{1}{2}$ Linie dick mit schwarzem Pech überzogen waren.

Die Bildung der Staubfiguren (Lichtenbergische-Figuren) ist eine Folge der elektroscopischen Wirkung der elektrischen Stellen der Harzflächen auf das durch das Beuteln gleichfalls elektrische Pulver. Am zweckmäßigsten wendet man ein Gemenge von Schwefelblumen und Mennige an. Positiv elektrische Stellen der Platte bedecken sich mit Schwefelblumen, sie erscheinen also gelb; die Mennige sammelt sich dagegen auf den negativ elektrischen Stellen der Platte, welche also roth erscheinen.

Wenn der Funken auf die Pechfläche übergegangen ist, so daß eine Staubfigur erschienen wäre, wenn man sie sogleich bestäubt hätte, bildete sich keine Figur, wenn die Pechfläche erst eine Secunde lang über eine Weingeistflamme hinführte, wodurch die Elektricität von der Pechfläche weggenommen wird.

Die einfachste Art, die Staubfiguren darzustellen, wie sie auch Rieß anwandte, ist folgende: Eine nur auf einer Seite mit Pech überzogene Kupferplatte wird durch einen Draht ableitend berührt und auf die Pech-

fläche einer isolirten Metallspitze aufgesetzt. Berührt man das obere Ende derselben mit dem Knopf einer positiv geladenen Flasche, entfernt man alsdann isolirt die Spitze, so erscheint beim Bepulvern mit der genannten Mischung eine gelbe runde Sonne mit dichten Strahlen.

Wird der Versuch in derselben Weise mit einer negativ geladenen Flasche angestellt, so entsteht eine kreisrunde volle rothe Scheibe.

Diese Verschiedenheit im Ansehn der Figuren ist bekannt. Rieß hat aber noch auf einen andern merkwürdigen Unterschied aufmerksam gemacht, darauf nämlich, daß die positive Figur weit größer ist, als die negative, wenn gleich starke Ladungen angewandt werden.

Bei einer bestimmten positiven Ladung der Flasche ergab sich (als Mittel aus drei Versuchen) 16,1 Millimeter als Durchmesser der gelben Sonne.

Bei gleich starker negativer Ladung ergab sich (ebenfalls als Mittel aus drei Versuchen) 5,8 als Durchmesser der rothen Scheibe.

Die Durchmesser der negativen und positiven Figuren, wenn sie durch gleich starke Ladung der Flasche erzeugt werden, verhalten sich demnach wie 1 zu 2,77 oder die von ihnen eingenommenen Flächenräume wie 1 zu 7,67.

Bringt man zwischen die isolirte Spitze und den ableitenden Draht eine auf beiden Seiten mit Pech überzogene Platte, bei Wiederholung des oben angegebenen Verfahrens, so entsteht auf der einen Seite die positive, auf der andern die negative Figur.

Als die Flasche mit negativer Elektricität geladen war, entstand natürlich oben die Scheibe, unten die Sonne, die gelbe Sonne war aber jetzt nur noch 2,2 mal so groß, als die rothe Scheibe.

Der Grund davon, daß hier die negative Figur verhältnißmäßig größer ausfiel, als bei dem vorigen Versuch, liegt in dem Ueberschuß negativer Elektricität, welche auf die obere Fläche übergegangen war; in der That entsteht auf der oberen Seite eine Sonne, welche 3,3 mal so groß war, als die rothe Scheibe auf der untern Seite, wenn man zu demselben Versuch eine positiv geladene Flasche anwendet.

Rieß hat gezeigt, daß die Staubfiguren nur dann entstehen, wenn der Uebergang der Elektricität auf die isolirende Platte von einer discontinuirlichen Entladung begleitet ist, die sich meistens schon durch ein eigenthümliches Zischen zu erkennen giebt. Hält man die Pechplatte an den Knopf einer geladenen Flasche, so geht ein Funken mit knisterndem Geräusch über, es findet also eine discontinuirliche Entladung Statt, beim Bestäuben entsteht eine Staubfigur; wird aber die Platte in eine solche Entfernung von dem Knopf der Flasche gebracht, daß kein Funken übergehen kann, so geht doch allmälig etwas Elektricität über, indem eine continuirliche

Entladung stattfindet. Bestäubt man die Platte, nachdem sie 30 bis 70 Minuten dem Knopf der Flasche gegenüber gestanden hat, so zeigen sich eine Menge rundlicher Flecken, welche unregelmäßig vertheilt sind, gelb, wenn die Flasche positiv, roth, wenn sie negativ geladen war. Diese Flecken zeigen keine Spur von strahliger Ausbreitung, sie sind an Größe und Gestalt für beide Elektricitäten völlig gleich.

Elektrische Staubfiguren entstehen also nur dann, wenn Elektricität durch eine discontinuirliche Entladung auf eine isolirende Platte gekommen ist.

Auf diese Thatsache gründet Rieß eine sehr sinnreiche Erklärung der Verschiedenheit der positiven und der negativen Staubfiguren. Bei der discontinuirlichen Entladung, welche über die Oberfläche eines Isolators hingeht, wird die condensirte Atmosphäre, welche die Oberfläche aller Körper bedeckt, gewaltsam durchbrochen, und ein Theil dieser auch Wasserdämpfe enthaltenen Schicht gewaltsam gegen die Oberfläche des Körpers selbst geworfen.

Nun aber hat Faraday gezeigt, daß, wenn feuchte Luft gewaltsam gegen irgend einen Körper strömt, dieser negativ elektrisch wird, und so wird denn nun hier auch die Oberfläche der Platte negativ elektrisch in Folge der Entladung, welche über die Fläche hin stattfindet; die von dieser Entladung noch übrig bleibende Elektricität hat sich also nur auf einer negativ elektrischen isolirenden Fläche zu verbreiten.

Ist die Flasche mit negativer Elektricität geladen, so verbreitet sich diese also von der Spitze aus über eine isolirende schon negative Fläche; die Umstände sind also der Ausbreitung der negativen Elektricität nicht günstig, die Figur wird nicht groß werden können und eine abgerundete Gestalt annehmen.

Ist die Flasche positiv geladen, so verbreitet sich der Rest der positiven Ladung von der Spitze aus auf einer durch die discontinuirliche Entladung negativ elektrischen isolirenden Schicht; der Umstand, daß jetzt also auf der Fläche schon Elektricität vorhanden ist, welche auf die von der Spitze noch ferner ausgehende anziehend wirkt, veranlaßt eine größere Ausbreitung der positiven Elektricität, der Umstand aber, daß die nachströmende positive Elektricität theilweise von der vorhandenen negativen neutralisirt wird, verursacht die strahlenförmige Gestalt der positiven Staubfigur.

Als Stütze für diese Ansicht führt Rieß noch die Modification der Erscheinung in verdünnter Luft an. Auf eine Pechplatte, die sich in einer Glasbüchse befand, wurde das stumpfe Ende eines Drahtes gestellt, der von einer mit positiver Elektricität geladenen Flasche einen Funken erhielt. Bei vollem Luftdruck entstand durch Bestäubung der Platte die Sonne, als aber die Luft bis auf 27½ Linien Barometerhöhe verdünnt war, ent-

stand nur noch ein unregelmäßiger gelber Fleck. Ebenso verhielt sich die negative Elektricität. Der Unterschied der positiven und negativen Figuren wurde bei dieser Verdünnung nicht mehr beobachtet.

Als die Luft auf 2—3 Linien ausgepumpt war, hinterließ die Drahtspitze nur noch einen Punkt, der bei positiver Elektricität roth, bei negativer Elektricität gelb, also nicht durch Uebergang der Elektricität auf die Platte, sondern durch Vertheilung entstanden war.

Das Durchbrechen der Luftschicht, welche die Platte umgiebt, ist also zur Erzeugung der Staubfiguren wesentlich.

74 **Staubbilder.** Wenn man einen Stempel (am besten einen möglichst einfachen, etwa einen einzigen erhabenen Buchstaben; man könnte dazu eine Buchdruckertype anwenden) auf eine einfache Pechplatte (so nennt Rieß eine nur auf einer Seite mit Pech überzogene Kupferscheibe) setzt, und dann dem Stempel Elektricität mittheilt, so wirkt er da, wo seine Fläche die Pechfläche berührt, vertheilend, die Pechfläche wird an der berührten Stelle elektrisch, und zwar entgegengesetzt zu der Elektricität des Stempels, denn wenn man nach Abheben des Stempels die Platte mit der erwähnten Pulvermischung bestäubt, so erhält man ein rothes Bild des Buchstabens, wenn der Stempel positiv, ein gelbes, wenn er negativ war; das Schwefelpulver setzt sich aber auf die positiven, Mennigpulver auf die negativen Stellen der Harzplatte.

Die oben beschriebene Erscheinung erleidet je nach der Art, wie der Stempel elektrisch gemacht wird, mancherlei Modificationen.

Berührt man den Stempel mit dem Knopf einer geladenen Leidner Flasche, und hebt man dann den Stempel isolirt ab, so entsteht das Bild des Stempels in der angegebenen Weise, es ist aber schwach bestäubt, während der Grund, durch Staubfiguren gebildet, gelb ist, wenn der Buchstaben roth erscheint, roth aber, wenn der Buchstaben gelb ist.

Wird der Stempel nicht isolirt abgehoben, so wird die Staubfigur verändert, wodurch auch die Reinheit des Bildes leidet.

Durch zu starke Elektrisirung läßt sich auch an der Stelle, wo der Stempel die Platte berührt, der Uebergang der Elektricität auf der Platte wenigstens theilweise erzwingen, so daß ein theils rothes, theils gelbes Staubbild entsteht.

Hier haben wir also gleichzeitig ein Staubbild und Staubfiguren. Um das Staubbild rein zu erhalten, muß man die Bildung der Staubfiguren vermeiden, was Rieß durch mehrere Methoden erreichte.

Der Knopf der Leidner Flasche wurde mit einer vierzölligen Kugel vertauscht, die Flasche selbst horizontal gelegt und befestigt, so daß man unter die Kugel die Pechplatte und den Stempel stellen konnte; der Stiel des Stempels war $\frac{1}{2}$ Zoll von der Kugel entfernt. Durch die vertheilende

Kugel wurde das Ende des Stempels, welches das Pech berührte, mit der Kugel gleichnamig elektrisch, eine zu starke Anhäufung der Elektricität wurde dadurch verhindert, daß der Stempel mit einer Spitze versehen war. Nachdem der Stempel etwa 20 bis 30 Minuten der vertheilenden Wirkung der Kugel ausgesetzt gewesen war, entstand ein reines Staubbild ohne Staubfigur, dagegen fanden sich unregelmäßige Flecke auf dem Grunde, welche nicht von der Farbe des Bildes waren.

Aehnliche Resultate wurden erhalten, als der Stempel mit dem einen Pol einer kräftigen trockenen Säule mehrere Stunden lang in Verbindung blieb, während die Elektricität des anderen Pols möglichst vollständig abgeleitet wurde.

In diesen Fällen, wo überhaupt keine Staubfigur entstand, war es gleichgültig, ob man den Stempel isolirt oder nicht isolirt abhob.

Die Farbe der unregelmäßigen Flecken zeigt, daß sie von Elektricität herrühren, die von dem Stempel auf die Pechplatte an Stellen übergegangen ist, die ihr ein leichtes Einströmen erlaubten. Um sie zu vermeiden, hat man nur dieser Elektricität einen noch leichteren Uebergang zu einer leitenden Umgebung zu bereiten, wie es geschieht, wenn man die Staubbilder in verdünnter Luft erzeugt. Rieß hat auf diese Art die vollkommensten Staubbilder erhalten.

Die bisher betrachteten Staubfiguren und Staubbilder sind nach der Bezeichnung von Rieß primär elektrische Zeichnungen, die im Folgenden zu betrachtenden Figuren und Bilder sind secundär elektrische Zeichnungen.

Elektrische Hauchfiguren. Die Oberfläche von Glas, Glimmer u. s. w., 75
über welche ein elektrischer Entladungsfunken gegangen ist, zeigt beim Behauchen eigenthümliche verästelte Figuren, die spiegelhell auf dem vom Hauche getrübten Grunde stehen.

Die Hauchfigur bezeichnet den Weg, welchen die elektrische Entladung auf der Fläche genommen hat und ihre Form ist daher nach der Natur der Substanz dieser Fläche verschieden. Auf Metall erscheint sie als runde Scheibe, auf Harz als geschlängelte Streifen, auf Glimmer als feine, vielfach verästelte Linie.

Von der Art der angewandten Elektricität ist die Hauchfigur unabhängig.

Daß die Hauchfiguren nicht von Elektricität herrühren, welche noch auf der Fläche haftet, geht daraus hervor, daß sie sich auch auf Metallflächen darstellen lassen, auf welchen sie beim Behauchen als helle Kreisfläche umgeben von mehr oder minder getrübten Ringen erscheinen; auch zeigt sich die Hauchfigur noch längere Zeit, nachdem der Entladungsschlag über die Fläche gegangen ist, oder wenn man die Fläche von einer Weingeistflamme

hat beſtreichen laſſen; von anhaftender Elektricität können die Hauchfiguren alſo nicht herrühren, ſie ſind einer Oberflächenänderung zuzuſchreiben, welche die angewandte Subſtanz durch die elektriſche Entladung erfahren hat.

Auf friſchen Glimmerflächen, d. h. auf ſolchen, welche durch eine friſche Spaltung erhalten werden, kommen keine Hauchfiguren zu Stande. Es hängt dies von einer eigenthümlichen Eigenſchaft der friſchen Glimmerflächen ab, welche Rieß im 67ſten Bande von Poggendorff's Annalen Seite 354 beſchrieben hat.

Wird ein reines Glimmerblatt angehaucht, oder über dampfendes Waſſer gehalten, ſo beſchlägt es, wie alle Körper, es wird mit einer bald wieder verſchwindenden Waſſerſchicht überzogen, die aus ſehr kleinen, in einigem Abſtande von einander befindlichen Waſſertropfen beſteht.

Wenn man aber dem Glimmer durch Spaltung eine friſche Oberfläche giebt, ſo bleibt ſie beim Behauchen vollkommen klar, ſpiegelnd und durchſichtig.

Dieſe Erſcheinung rührt keineswegs daher, daß die friſche Fläche keinen Waſſerdampf condenſirt; hat man ihr einige Ausdehnung gegeben, ſo bemerkt man leicht, daß ſie durch den Hauch mit den Farben der dünnen Blättchen anläuft, alſo mit einer zuſammenhängenden Waſſerſchicht bedeckt iſt.

Ein Waſſertropfen, der auf einer alten Glimmerfläche ſtehen bleibt, zerfließt auf einer friſchen ſogleich und benetzt dieſelbe vollſtändig.

Eine durch Spaltung eben entſtandene Glimmerfläche beſitzt alſo in Folge ihrer großen Reinheit eine ſo große Anziehung zum Waſſergaſe, daß ſie daſſelbe zu einer cohärenten Schicht verdichtet, während ſie längere Zeit der Luft ausgeſetzt, daſſelbe nur in geſonderten Tropfen zu condenſiren vermag.

Während eine alte Glimmerfläche ein ſehr guter Iſolator der Elektricität iſt, wird ein Elektroſcop durch eine friſche Glimmerfläche in wenigen Sekunden entladen, die friſche Glimmerfläche wirkt nämlich hygroſcopiſch, ſie verdichtet den atmoſphäriſchen Waſſerdampf zu einer cohärenten Waſſerſchicht, welche die Elektricität leitet.

Dieſe merkwürdige Eigenſchaft friſcher Glimmerflächen erhält ſich an der Luft nur kurze Zeit, nach einigen Tagen wird ſie ſchon durch Behauchen getrübt.

Sehr heftige elektriſche Entladungen bringen nicht allein eine Veränderung der die Körper bedeckenden fremden Schicht hervor, ſondern ſie verändern die Oberfläche der Körper ſelbſt. Hierher gehören die ſchon oben S. 111 betrachteten Spuren, welche die Entladungsfunken auf Glas und Glimmer zurückläßt (elektriſche Farbenſtreifen) und die Prießley'ſchen

Ringe, welche entstehen, wenn mehrere Entladungen einer Batterie zwischen einer Spitze und einer polirten Metallfläche Statt finden, wobei sich durch Oxydation des Metalls mehrere gefärbte concentrische Kreise bilden.

Karsten's elektrische Abbildungen. Die Analogie elektrischer 76
Hauchfiguren, welche Rieß im VI. Bande von Dove's Repertorium der Physik beschrieben hatte, mit den Moser'schen Bildern, veranlaßte Karsten zu versuchen, ob sich nicht auch solche Bilder auf elektrischem Wege darstellen ließen.

Zu dem Ende legte er (P. A. LVII. 492) eine Münze auf Spiegelglas, das auf einer abgeleiteten Metallplatte ruhte und ließ aus dem Conductor der Maschine Funken auf die Münze schlagen, die zugleich von dieser nach der Metallplatte (also um den Glasrand herum) überschlugen. Nach 100 Umdrehungen der Maschine wurde die Münze entfernt; die Glastafel erschien durchaus unverändert, beim Behauchen aber kam das vollständige Bild der Münze zum Vorschein.

Ueber elektrische Abbildungen hat Karsten außer dem erwähnten noch zwei andere Aufsätze in Poggendorff's Annalen publicirt (LVIII. 115 und LX. 1), da es ihm jedoch nicht gelungen ist, die wahre Natur der elektrischen Bilder zu ermitteln, so ist es wohl unnöthig, weiter in's Detail dieser Abhandlungen einzugehen, um so mehr, da, wie wir sogleich sehen werden, Rieß die zur Entstehung elektrischer Bilder erforderlichen Bedingungen richtig erkannt hat, der Bericht über die Rieß'sche Untersuchung also hinreicht, um wenigstens das Thatsächliche zur Kenntniß des Lesers zu bringen.

Nur nach einer Seite hin müssen wir Karsten's letzten Aufsatz noch etwas betrachten. Im Eingange führt er mehrere Versuche an, die man gemacht hat, um die Entstehung der Moser'schen Bilder zu erklären; er führt hier außer Moser's eigner Theorie noch die Ansichten von Hunt, Knorr, Figrau, Daguerre, Masson und Moore an. Warum wird hier Waideles treffliche Arbeit über diesen Gegenstand ignorirt, die doch schon in der ersten Hälfte des 59sten Bandes von Poggendorff's Annalen steht, und welche uns, nachdem diese Bilder Veranlassung zu vielfachen theoretischen Schwindeleien geworden waren, zuerst wieder auf den Boden einer rationellen Behandlung des Gegenstandes zurückführt. Sollte Karsten diese Arbeit bei Abfassung des Aufsatzes im 60sten Bande der Annalen noch nicht gekannt haben?

Die Erklärung, die Karsten von den Moser'schen Bildern giebt, ist durchaus unzulässig und leicht zu widerlegen. Er meint, weil man mit Hülfe von Elektricität ähnliche Bilder erzeugen kann, so müßten auch die Moser'schen Bilder elektrischen Ursprungs seyn. — Er meint: »Wenn zwei Körper, die irgendwie von einander verschieden sind mit ein-

ander in Berührung kommen, so entsteht ein elektrischer Strom!?« und dieser soll die Ursache der Moser'schen Bilder seyn.

Die Entstehung eines elektrischen Stromes bei Berührung zweier heterogener Körper, wie es sich hier Karsten vorzustellen scheint, wird selbst der eifrigste Anhänger der Contacttheorie nicht zugeben, aber selbst die Existenz eines solchen Stromes zugegeben, würde dieser kein Bild erzeugen können, wie die Rieß'schen Untersuchungen beweisen.

Daß eine elektrische Spannung allein ohne wiederholte Entladung zwischen dem abzubildenden Körper und der Platte zur Erzeugung elektrischer Bilder nicht hinreicht, hat schon Knorr in einem Aufsatz: »über elektrische Abbildungen und Thermographien (P.A. LXI.569)« gezeigt, und die Unhaltbarkeit der Karsten'schen Ansicht, als seyen die Moser'schen Bilder elektrischen Ursprungs, nachgewiesen.

Der übrige Inhalt der Knorr'schen Aufsätze wird als nicht hierher gehörig erst bei einer andern Gelegenheit besprochen werden.

77 **Elektrische Hauchbilder.** Rieß setzte einen Metallstempel auf eine spiegelnde Pechfläche, auf diesen ein kleines Metallgewicht, welches durch einen Metallfaden (Silberfaden) mit derjenigen Kugel des Funkenmikrometers verbunden war, welche direct vom Conductor der Maschine die Elektricität empfing, während die andere Kugel des Funkenmikrometers $\frac{1}{2}$ Linie von der ersteren entfernt, mit dem Boden in leitender Verbindung stand.

Wird nun die Maschine gedreht, so häuft sich auf der ersten Kugel des Funkenmikrometers und dem Stempel Elektricität an, bis eine Entladung durch Ueberschlagen eines Funkens zwischen den beiden Kugeln entsteht; bei fortgesetztem Drehen wird der Stempel von neuem geladen und entladen u. s. w. Die Entladungen folgen um so rascher, je näher die Kugeln des Funkenmikrometers einander stehen.

Nach einigen Umdrehungen der Scheibe wurde der Stempel abgehoben, und die Platte behaucht und zeigte nun ein spiegelndes Bild des Stempels auf trübem Grunde.

Es ist für diesen Versuch gleichgültig, welche Elektricität die Elektrisirmaschine liefert.

Auf Glas und Glimmer lassen sich solche Bilder ebenfalls erzeugen, jedoch erscheinen hier öfters mißlungene Bilder.

Das einfache Hauchbild, sagt Rieß, entsteht durch wiederholte elektrische Entladungen, die zwischen dem Modelle und der isolirenden Platte in entgegengesetzter Richtung stattfinden. Die Elektricität, welche den Modellen mitgetheilt wird, geht auf die Platte über, und später an das Modell zurück, wenn dieses durch das Funkenmikrometer entladen wird; es entsteht also eine Bewegung derselben Elektricitätsart von Oben nach

Unten, und dann wieder von Unten nach Oben. — Da die Entladungen zwischen einem schlechten und einem guten Leiter nie vollständig sind, so bleibt Elektricität der angewandten und der entgegengesetzten Art auf die so isolirende Platte zurück, welche daselbst Staubfiguren, oft auch Staubbilder zu erzeugen im Stande sind.

Durch einfache Elektrisirung des Stempels, wie sie zur Hervorbringung der Staubbilder angewandt wird, entsteht kein Hauchbild; die abwechselnde Ladung und Entladung des Stempels ist zur Bildung des Hauchbildes durchaus nöthig.

Legt man auf eine Pechplatte ein Glimmerblatt, und setzt man auf dieses einen Metallstempel, so wird bei der Elektrisirung des Stempels eine zweifache Entladung derselben Elektricitätsart nach derselben Richtung stattfinden, nämlich vom Stempel zur oberen Glimmerfläche und von der unteren Glimmerfläche zur Pechplatte. Als der Stempel von einer positiv geladenen Flasche ein Funken mitgetheilt worden war, zeigte die Pechfläche bestäubt das gelbe Bild des Stempels von positiven Staubfiguren umgeben; wenn man also bei dieser Anordnung der Stempel abwechselnde Ladung und Entladung erfährt, so sind die Bedingungen zu Bildung mehrfacher Hauchbilder gegeben.

Eine Pechfläche wurde mit einem Glimmerblatte bedeckt und ein Stempel darauf gestellt, der durch das Funkenmikrometer geladen und entladen wurde. Nach 20 Umdrehungen zeigte die obere Glimmerfläche ein vollkommenes, die untere Glimmerfläche und die Pechfläche aber ein meist unvollkommenes Hauchbild.

Diese Bilder bleiben so oft unvollkommen, weil Pech und Glimmer durch die nach jeder Entladung zurückbleibende Elektricität stark zusammenhaften und folgende Entladungen dann an Stellen herbeigeführt werden, die zufällig zerstreut außerhalb der Bildfläche liegen, wird aber für die Pechplatte eine Metallplatte substituirt, so erhält man ein vollkommenes Hauchbild auf der oberen und unteren Glimmerfläche und auf der Metallfläche.

Das Sichtbarwerden der Hauchbilder ist nach Rieß dadurch zu erklären, daß die Oberflächen durch die elektrischen Entladungen von der fremden Schicht befreit werden, mit welcher sie in der Regel überzogen sind, und er hat eine solche Reinigung bei Bildern auf Metall auch nachgewiesen. Auf einer vollkommen isolirenden Glimmerfläche erzeugte Rieß ein Hauchbild und nun zeigte sich die Stelle, an welcher das Bild erschien, leitend wie eine frische Glimmerfläche; die Glimmerfläche war also in der That von der sie bedeckenden Schicht an dieser Stelle gereinigt worden.

In den meisten Fällen werden die Hauchbilder allerdings durch eine

ſolche Reinigung erzeugt, das Hauchbild kann aber auch durch Verunreinigung der Platte entſtehen.

Auf einer friſchen Glimmerfläche erhält man ein getrübtes Bild des Stempels auf ſpiegelndem Grunde. Auf einer alten Glimmerfläche, welche durch 40 Umdrehungen elektriſirt, ein helles Hauchbild (Grund behaucht) gab, wurde durch 100 Umdrehungen ein Bild erzeugt, welches vollkommen getrübt hervortrat.

Die in der Trübung verſchiedene Art des Hauchbildes hängt vom Zuſtande der angewandten Platte und des Stempels, und von der Stärke der Elektriſirung ab, und die helleren Bilder kommen nur deßhalb öfter vor, weil man ſich unreiner Platten, und einer möglichſt geringen Elektricität zu bedienen gewohnt iſt.

Die Entſtehung der Hauchbilder iſt, wie die der Hauchfiguren einer Veränderung zuzuſchreiben, welche die elektriſche Entladung in der Schicht hervorbringt, welche die Platten deckt, und je nach Umſtänden in einer Verdünnung oder Verdichtung dieſer Schicht beſteht.

Ein Funken, aus einer reinen Metallfläche gezogen, verletzt dieſelbe, läßt ſie aber unverändert, wenn ſie unrein oder gar gefirnißt iſt. Ein ähnlicher Fall tritt auch bei den Hauchbildern auf Metall ein. Geht nur eine geringe Anzahl von Entladungen zwiſchen der Metallfläche und dem ſie deckenden Glimmer über, ſo beginnt die intermittirende Entladung in der fremden Schicht auf der Oberfläche des Metalls, und das Metall bleibt unverletzt; iſt hingegen dieſe fremde Schicht zerſtört und dadurch eben das Hauchbild entſtanden, und man läßt die Entladungen fortdauern, ſo beginnen dieſe im Metalle ſelbſt und verändern daſſelbe. Rieß hat ſolche Bilder, die ſich ohne Behauchung zeigten und einzelne Theile des Stempels in bräunlicher Farbe wiedergaben, auf Silber zuweilen ſchon durch 50 bis 60 Umdrehungen dargeſtellt.

78 **Elektrolitiſche Bilder.** Wird die ſtumpfe Spitze einer Platinnadel auf ein mit Jodkaliumlöſung befeuchtetes Papier geſtellt, das auf einer zur Erde abgeleiteten Metallplatte liegt, ſo entſteht unter der Spitze ein brauner Fleck, wenn man die Nadel poſitiv, aber kein Fleck, wenn man die Nadel negativ elektriſirt. Wendet man poſitive und negative Elektricität in beliebiger Ordnung nach einander an, ſo bleibt dennoch die Färbung, ſelbſt wenn die Menge der negativen Elektricität die der poſitiven bei weitem übertrifft.

Dies Factum erklärt die elektrolitiſchen Bilder, welche Rieß erfunden hat, um die Richtigkeit der eben angeführten Anſicht, über die Bildung der Hauchbilder durch hin- und hergehende Entladung, zu beweiſen.

Ein Stück (Muſter-) Karten-Papier wurde auf einer Fläche mit einer Löſung von Jodkalium in Waſſer befeuchtet auf eine zur Erde abgeleitete

Metallplatte gelegt und mit einem Glimmerblatte bedeckt. Ein Stempel wurde auf den Glimmer gestellt, durch ein Gewicht von 2 — 14 Unzen angedrückt und mit dem Funkenmikrometer verbunden, dessen Kugeln $^1/_2$ Linie von einander entfernt waren. Nach 20 Umdrehungen der Scheibe, deren positive Elektricität fortwährend mit Funken zwischen den Kugeln überging, war ein sehr scharfes Bild auf dem Papier entstanden, in welchem die Buchstaben des Stempels braun erschienen.

Die Erklärung dieser Erscheinung ist nach dem obigen leicht. Wie bei den Hauchbildern geht, während der Stempel mit positiver Elektricität geladen wird, die positive Elektricität von der unteren Glimmerfläche zu der Metallplatte und zwar hier durch das feuchte Papier über, und durch diesen Uebergang der $+E$ zur Metallplatte wird das Jodkalium zersetzt; sobald eine Entladung zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers stattfindet, findet zwischen der Metallplatte und dem Glimmer eine entgegengesetzte Strömung Statt, es kehrt nämlich jetzt die $+E$ zum Glimmer zurück, also $-E$ vom Glimmer durch die feuchte Scheibe zum Metall. Während die $+E$ zum Metall geht, wird das Jodkalium zerlegt und dieser Effect wird durch die Entladung in entgegengesetzter Richtung nicht aufgehoben.

Sehr zu bemerken ist, daß das Uebergehen der $+E$ vom Glimmer zum Metall allmälig stattfindet, während die Entladung in entgegengesetzter Richtung momentan vor sich geht.

Wiederholt man den Versuch genau in derselben Weise mit $-E$, so erhält man kein Bild, sondern unregelmäßige braune Flecken.

Dies erklärt sich nun auch leicht; hier geht nämlich die negative Elektricität allmälig zur Metallplatte, während die Strömung in entgegengesetzter Richtung plötzlich vor sich geht, also eine größere Menge positiver Elektricität auf einmal zur Metallplatte zurückkehrt, also leichter auch an solchen Punkten übergeht, die außerhalb der Bildfläche liegen.

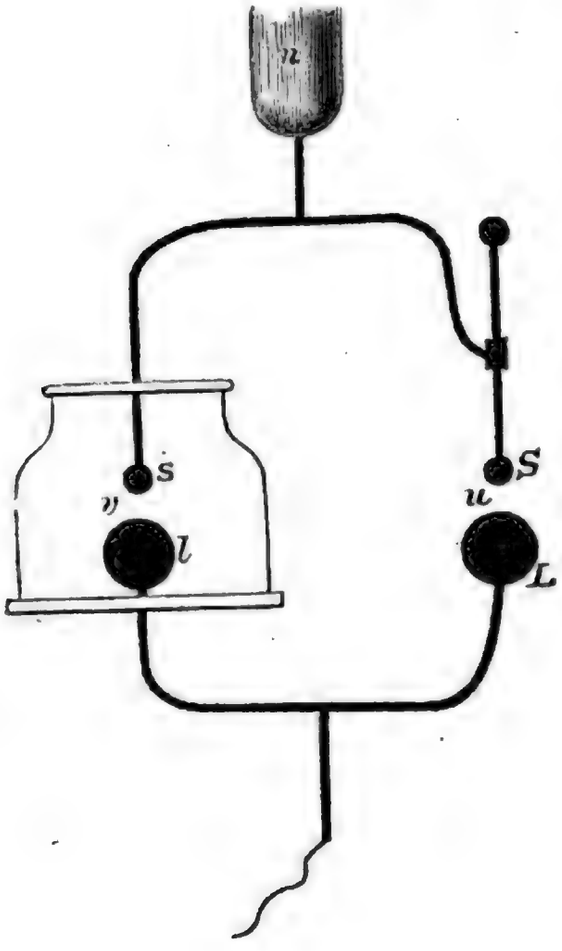
Um mit negativer Elektricität ein Bild zu erhalten, hat man nur dafür zu sorgen, daß die Menge der $+E$, welche bei der Entladung zwischen den Kugeln zur Metallplatte zurückkehrt, geringer wird, was man dadurch erreicht, daß man die Kugeln des Funkenmikrometers einander nähert.

Vierter Abſchnitt.

Elektriſche Funken und Lichtbüſchel.

79 **Faraday's Unterſuchungen über Funken und Lichtbüſchel.** Ohne näher auf die an einer andern Stelle (Seite 64) ſchon erwähnten theoretiſchen Betrachtungen einzugehen, welche Faraday über Funken und Lichtbüſchel anſtellte, will ich hier nur die wichtigſten Thatſachen zuſammenſtellen, welche er bei ſeinen Verſuchen über dieſe Lichterſcheinungen ermittelt hat. (P. A. XLVII. und XLVIII.)

Fig. 72.



Um den Widerſtand, welchen verſchiedene Gaſe dem Ueberſchlagen von Funken entgegenſetzen, mit dem entſprechenden Widerſtande der Luft zu vergleichen, wandte Faraday einen Apparat an, deſſen Schema in Figur 72 dargeſtellt iſt. Zwei kleine Kugeln s und S, die mit dem Conductor einer Elektriſirmaſchine verbunden ſind, ſtehen zwei größern Kugeln l und L gegenüber, welche ableitend mit dem Boden in Verbindung

stehen. Der Durchmesser der Kugeln war folgender:

s	0,93 Zoll	l	2,02 Zoll
S	0,96 »	L	1,95 »

Der Zwischenraum v zwischen s und l blieb beständig 0,62 Zoll; der Zwischenraum u zwischen S und L war veränderlich.

Es wäre sehr gut gewesen, wenn die beiden kleinen Kugeln s und S einander vollkommen gleich gewesen wären, ebenso hätten eigentlich l und L ganz gleich seyn sollen; man hätte alsdann viel sicherere Schlüsse aus den folgenden Versuchen ziehen können.

Die beiden Kugeln s und l befanden sich in einer Glasglocke, die luftleer gemacht und dann mit verschiedenen Gasen gefüllt werden konnte.

War der Recipient mit Luft unter dem Drucke der Atmosphäre gefüllt, so schlugen die Funken abwechselnd bei u und v über, wenn der Zwischenraum bei u zwischen 0,6 und 0,79 Zoll betrug. Nur wenn der Zwischenraum u kleiner als 0,6 Zoll war, schlugen hier die Funken beständig über, war er aber größer als 0,79 Zoll, so schlugen die Funken beständig bei v über.

Aehnliche Resultate wurden erhalten, wenn andere Gase, unter dem Drucke der Atmosphäre im Recipienten waren. Es ergaben sich für den Zwischenraum bei u zwei Gränzen, innerhalb deren der Funke bald bei u, bald bei v überschlägt; ist der Zwischenraum bei u kleiner als der kleinste dieser Gränzwerthe, so schlägt der Funken stets bei u, ist er aber größer als der größte dieser Gränzwerthe, so schlägt er stets bei v über. Die folgende Tabelle giebt für verschiedene Gase die Gränzwerthe von u an, während v stets 0,62 Zoll bleibt.

		kleinster	größter	mittlerer
Luft s und S	+	0,60	0,79	0,695
	—	0,59	0,68	0,635
Sauerstoff s und S . .	+	0,41	0,60	0,505
	—	0,50	0,52	0,510
Stickstoff s und S . .	+	0,55	0,68	0,615
	—	0,59	0,70	0,645
Wasserstoff s und S . .	+	0,30	0,44	0,370
	—	0,25	0,30	0,275
Kohlensäure s und S .	+	0,56	0,72	0,640
	—	0,58	0,60	0,590
Oelbildendes Gas s und S	+	0,64	0,86	0,750
	—	0,69	0,77	0,730
Steinkohlengas s und S	+	0,37	0,61	0,490
	—	0,47	0,58	0,525
Salzsäuregas s und S .	+	0,89	1,32	1,105
	—	0,67	0,75	0,720

Eine ähnliche Versuchsreihe gab

		kleinster	größter	mittlerer
für Wasserstoff	s und $S+$	0,23	0,57	0,400
» Kohlensäure		0,51	1,05	0,780
» ölbildendes Gas		0,66	1,27	0,965

was mit den obigen Resultaten eben nicht sehr übereinstimmt, ein Beweis, daß diese Zahlen keine sonderliche Basis bieten, um Schlüsse darauf zu bauen.

Daß innerhalb gewisser Gränzen für die Entfernung bei u der Funken abwechselnd bei u oder v überschlägt, daß es also nicht für jedes Gas einen einzigen fest bestimmten Werth von u giebt, über welchen hinaus der Funken stets bei v, unter welchen aber der Funken stets bei u überspringt, hängt jedenfalls von Zufälligkeiten ab (vielleicht von Staubtheilchen die in der Luft schweben), über die wir keine Rechenschaft geben können.

Wenn an einem der Zwischenräume einmal ein Funken übergegangen ist, so hat er gewöhnlich eine stärkere Neigung zum Erscheinen an demselben Zwischenraume.

Ein merkwürdiger Umstand liegt darin, daß die erwähnten Gränzwerthe der Entfernung u viel näher zusammen fallen, wenn s und S negativ, als wenn diese Kugeln positiv sind. Es ist nämlich nach obiger Tabelle die Differenz der Gränzwerthe

	s und S +	s und S −
in Luft	0,19	0,09
Sauerstoff	0,19	0,02
Stickstoff	0,13	0,11
Wasserstoff	0,14	0,05
Kohlensäure	0,16	0,02
ölbildendem Gas	0,22	0,08
Steinkohlengas	0,24	0,12
Salzsäuregas	0,43	0,08

Obwohl, wie Faraday selbst bemerkt, diese Zahlen wohl noch einer bedeutenden Berichtigung bedürfen, so ist doch das allgemeine Resultat auffallend und der Unterschied in mehreren Fällen sehr groß.

Aus diesen Versuchen geht klar hervor, daß verschiedene Gase nicht gleiches Isolationsvermögen haben. Betrachten wir die mittleren Werthe von u (für positive Ladung von s und S), so sehen wir daraus, daß eine 0,62 Zoll dicke Schicht von

Sauerstoff	eben so gut isolirt wie eine Luftschicht, deren Dicke ist	0,505
Stickstoff		0,615
Wasserstoff		0,370
Kohlensäure		0,640
Ölbildendes Gas		0,750
Steinkohlengas		0,490
Salzsäuregas		1,105

d. h. eine elektrische Entladung geht eben so leicht durch eine 0,370 Zoll dicke Luftschicht, wie durch eine 0,62 Zoll dicke Schicht von Wasserstoffgas, ein elektrischer Funken schlägt eben so leicht durch eine 1,105 Zoll dicke Luftschicht wie durch eine 0,62 Zoll dicke Schicht von Salzsäuregas. Ein elektrischer Funken schlägt also entschieden leichter durch Sauerstoff, Wasserstoff und Steinkohlengas, als durch eine gleich dicke Schicht von Luft, dagegen setzt Salzsäuregas und ölbildendes Gas dem Ueberschlagen des elektrischen Funkens einen entschieden größeren Widerstand entgegen als eine gleich dicke Luftschicht.

Aehnliche Resultate ergab eine spätere, jedenfalls weniger zuverlässige Versuchsreihe. (P. A. XLVIII. S. 281.)

Die mittleren Werthe von u sind nicht gleich bei positiver und negativer Ladung von s und S, für manche Gase hat u einen größeren mittleren Werth, bei positiver Ladung von S und s als bei negativer, bei anderen Gasen ist es umgekehrt; aus diesen Versuchen jedoch den Schluß ziehen zu wollen, daß manche Gase die negative, andere die positive Entladung besser durchlassen, scheint mir durchaus unzulässig, weil die hierher gehörigen Differenzen der obigen Tabelle offenbar innerhalb der Beobachtungsfehler liegen.

So ist nach der Tabelle auf S. 187 der mittlere Werth von u bei positiver Ladung von s und S für

Wasserstoff . .	0,37
Kohlensäure . .	0,64
ölbildendes Gas .	0,75,

während Faraday bei einer späteren Versuchsreihe bei gleicher Anordnung folgende Werthe erhielt:

Wasserstoff . .	0,40
Kohlensäure . .	0,78
ölbildendes Gas .	0,96.

Man sieht, daß die entsprechenden Werthe von u, welche man für positive Ladung von s und S erhielt, und welche eigentlich gleich seyn sollten, eben so stark von einander differiren, wie die entsprechenden Werthe bei positiver und negativer Ladung von S und s, wonach es wohl als gerechtfertigt erscheint, wenn man auf diese Differenzen kein weiteres Gewicht

legt; ein Grund mehr, welcher dafür spricht, diese Differenzen auf Kosten der Beobachtungsfehler zu schreiben, liegt darin, daß auch, wenn Luft in der Glocke ist, wenn also der Funken bei v ebenfalls durch Luft schlägt, der positive und negative Mittelwerth für u ungleich gefunden wurde, nämlich wenn s und S positiv, war $u = 0{,}695$; als s und S negativ, war $u = 0{,}635$. — Diese Differenz kann doch nur zufälligen Störungen zugeschrieben werden, welche eben die Beobachtungsfehler bedingen, denn warum sollte bei positiver Ladung von s und S der Funken leichter durch die Luft bei v, bei negativer Ladung leichter durch die Luft bei u übergehn? — Wenn Luft im Gefäß ist, hätte man den Werth von u für + und — Ladung von s und S doch nur unbedeutend verschieden finden müssen, wenn die Beobachtungsfehler nicht zu bedeutend wären.

Faraday selbst hält diese Versuche in dieser Beziehung nicht für entscheidend, führt aber noch einiges an, was für eine solche Differenz zwischen positiver und negativer Entladung sprechen soll. Als $u = 0{,}8''$ gemacht und die Glocke mit Salzsäuregas gefüllt worden war, fand bei positiver Ladung von s und S die Entladung stets bei u durch Luft, bei negativer Ladung von s in S aber stets bei v durch das Salzsäuregas Statt.

So fand sich auch, daß, wenn der Conductor nur mit dem Salzsäure-Apparat verbunden war, die Entladung leichter bei negativer Ladung der kleinen Kugel s geschah, als bei positiver, denn in letzterem Falle ging viel von der Elektricität als Lichtbüschel-Entladung aus dem Verbindungsdraht durch die Luft, allein im ersteren Falle schien alles durch das Salzsäuregas zu gehen. (P. A. XLVII. 287.)

80 **Ungleiche Schlagweite bei positiver und negativer Entladung.** Viele bekannte Erscheinungen sprechen allerdings dafür, daß die positive und negative Entladung nicht mit gleicher Leichtigkeit stattfinde. Wenn einer kleinen, mit dem Conductor verbundenen Kugel, welche also die vertheilende ist, eine größere ableitend berührte (die vertheilte) gegenübersteht, so erhält man bekanntlich fast doppelt so lange Funken, wenn der Conductor positiv, als wenn er negativ ist.

Faraday hat diesen Umstand näher untersucht, und dabei folgende Thatsachen ermittelt.

Die Entladung ließ er vor sich gehn zwischen zwei Kugeln, von denen die eine 2, die andere 0,25 Zoll im Durchmesser hatte. War die große Kugel mit dem Conductor verbunden, also die vertheilende, so erschienen bei positivem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwischenraume von . . . . 0,49 Zoll
negative Büschel, von der kleinen Kugel ausgehend allein, wenn der Zwischenraum größer war, als . . . . . 0,52 »

Bei negativem Conductor
Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . 1,15 Zoll
Positive Büschel, von der kleinen Kugel ausgehend allein,
wenn der Zwischenraum größer war als . . . . . 1,65 »

Zwischen diesen Gränzen erhielt er Funken und Büschel gemischt.

Nun wurde die kleine Kugel mit dem Conductor in Verbindung gebracht, die große zum Boden abgeleitet. Es ergaben sich bei positivem Conductor
Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . . 0,67 Zoll
positive Büschel allein, wenn der Zwischenraum größer war als 0,74 »

Bei negativem Conductor
Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . 0,4 »
negative Büschel allein, wenn der Zwischenraum größer war als 0,44 »

Aus diesen Versuchen ergiebt sich also:

1) man erhält längere Funken, wenn die kleine Kugel positiv elektrisch ist,

2) man erhält längere Funken, wenn die große Kugel die vertheilende und die kleine die vertheilte ist.

Wenn die kleine Kugel Elektricität in Form von Büscheln entladet, so sind die Büschel weit zahlreicher, und ein jeder scheint viel weniger elektrische Kraft fortzuführen, wenn die so entladene Elektricität negativ, als wenn sie positiv ist.

Dies scheint anzudeuten, daß die kleine Kugel zur Entladung eine stärkere Spannung erfordert, wenn sie positiv, als wenn sie negativ ist.

Um diesen wichtigen Punkt zu erläutern, stellte Faraday einen Apparat zusammen, der in Fig. 73 schematisch angedeutet ist: Eine Gabel *A*, eine große und eine kleine Kugel tragend, war mit dem Conductor der Maschine in Verbindung gesetzt; eine ganz gleiche Gabel ableitend berührt; die kleine Kugel einer jeden Gabel stand der großen der andern gegenüber. Die Zwischenräume zwischen *n* und *o* waren gleich. War der Conductor negativ, so ging die Entladung stets bei *n* vor sich, was nicht auffallen kann, weil die negative Ladung der vertheilenden kleinen Kugel bei *n* jedenfalls stärker ist, als die positive Ladung der vertheilten kleinen Kugel bei *o*. Hätte aber nun, bei positiver Ladung des Conductors die Entladung bei *o* stattgefunden, so hätte man daraus ersehen, daß die schwächere negative Ladung der vertheilten kleinen Kugel bei *o* sich leichter entladet, als die weit stärkere positive Ladung der vertheilenden kleinen Kugel bei *n*, es wäre dieß ein ent-

Fig. 73.

ſcheidender Beweis für die leichtere Entladung der negativen Elektricität geweſen. Ein ſo entſcheidendes Reſultat gaben aber die Verſuche nicht; als die Zwiſchenräume bei *n* und *o* gleich 0,9 Zoll und als ſie 0,6 Zoll waren, fand die Entladung ſtets bei *n* Statt, mochte nun der Conductor poſitiv oder negativ ſeyn.

Der Zwiſchenraum *n* wurde 0,79″, der bei *o* gleich 0,58 Zoll gemacht. War der Conductor poſitiv, ſo war die Entladung an beiden Stellen *n* und *o* gleich, war er aber negativ, ſo geſchahen die Entladungen meiſt bei *n*, was allerdings darauf hindeutet, daß die kleine Kugel im negativen Zuſtande etwas leichter entladet, als im poſitiven, doch iſt dies Reſultat durchaus nicht entſcheidend.

Eine ähnliche Vorrichtung, wie die Fig. 73, wurde innerhalb eines Glasgefäßes angebracht, welches mit verſchiedenen Gaſen gefüllt werden konnte. Bei gleichen Zwiſchenräumen bei *n* und *o* erhielt Faraday für Kohlenſäure ganz entſchiedene Reſultate. Als der Conductor poſitiv war, fand die Entladung meiſt bei *o*, als er negativ war, ſtets bei *n* Statt, hier war alſo die negative Entladung entſchieden die leichtere; faſt eben ſo entſchieden zeigte ſich das Uebergewicht der negativen Entladung in Steinkohlengas. In Luft und Sauerſtoff zeigt ſich die größere Leichtigkeit der negativen Entladung ziemlich zweifelhaft, bei Stickſtoff und Waſſerſtoff zeigte ſich ſogar einige Wahrſcheinlichkeit für das entgegengeſetzte Verhalten.

Schon Belli hat Verſuche angeſtellt, aus welchen hervorgeht, daß die negative Elektricität leichter in Luft entweicht, als die poſitive (P. A. XXXX. 73).

Nachdem er einen Quadranten-Elektrometer auf einen horizontalen iſolirten Conductor befeſtigt und darauf poſitiv elektriſirt hatte, fand er im Mittel aus drei Verſuchen, daß das Elektrometer, um von 20° auf 10° zu ſinken, eine Zeit von 10 Minuten brauchte; mit negativer Elektricität waren dagegen, um dieſelben 10° zu durchſinken, nur 4,5 Minuten erforderlich.

81 **Funken in verſchiedenen Gaſen.** Die Erſcheinungen bei den Funken in verſchiedenen Gaſen ſind oft beobachtet und beſchrieben worden. Auch Faraday hat Verſuche über dieſen Gegenſtand angeſtellt und in ſeiner 12ten Reihe von Experimentalunterſuchungen beſchrieben (P. A. XLVII. 536).

Die Gaſe waren unter dem Druck der Atmoſphäre; die Funken ſchlugen zwiſchen Meſſingkugeln über.

In Luft, ſagt Faraday, haben die Funken jenes intenſive Licht und jene blaue Farbe, welche ſo bekannt ſind; und wenn die übergehende

Elektricitätsmenge nicht groß ist, haben sie oft schwache oder dunkle Stellen in ihrem Lauf.

In Stickgas sind die Funken sehr schön, im Allgemeinen von gleichem Ansehn, wie in Luft, doch entschieden von mehr blauer und purpurrother Farbe, und, wie es Faraday schien, merkwürdig laut.

In Sauerstoff waren die Funken weißer, als in Luft oder Stickgas, doch nicht so glänzend.

In Wasserstoff hatten sie eine feine Carmoisinfarbe; das Geräusch war in diesem Gase sehr schwach.

In Kohlensäure war die Farbe der in Luft ähnlich, doch mit Beimischung von etwas Grün. Die Funken waren von merkwürdig unregelmäßiger Gestalt, mehr als in gemeiner Luft.

In Salzsäuregas war der Funken fast weiß, durch und durch gleich hell, nirgends jene dunklen Stellen zeigend, welche in Luft, Stickgas u. s. w. vorkommen.

In Steinkohlengas war der Funken zuweilen grün, zuweilen roth, zuweilen an einer Stelle grün, an einer andern roth. Auch kommen in der Linie des Funkens sehr plötzlich dunkle Stellen vor.

Die Funken können in weit dichteren Mitteln als die Luft, z. B. in Terpentinöl, Baumöl, Harz, Glas, Wallrath, Wasser ꝛc. erhalten werden.

Büschel. Die wichtigsten thatsächlichen Bemerkungen, welche Faraday in Beziehung auf Büschel gemacht hat, dürften wohl folgende seyn. (P. A. XLVII.) 82

Büschel und Funken gehen allmälig in einander über. (Faraday nennt den elektrischen Lichtbüschel einen Funken gegen Luft.) Macht man den Conductor einer guten Elektrisirmaschine positiv elektrisch, so kann man an einer kleinen, an diesem Conductor befestigten Kugel sehr schöne Uebergänge von Funken und Lichtbüscheln erhalten. Die von van Marum (Beschreibung der großen Maschine im Taylor'schen Museum; deutsche Uebersetzung von 1786. Tab. III. Fig. 1), Harris (phil. Trans. 1834 pag. 243) und andern gelieferten Abbildungen langer und kräftiger Funken zeigen auch dieselben Erscheinungen (1448) (nämlich eine Verästelung des Funkens, durch welche eben der Uebergang zum Büschel gemacht wird).

Wenn von einem isolirten Leiter, der mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine verbunden ist, ein 0,3 Zoll dicker Metallstab abwärts von der Maschine hervorragt, dessen Ende abgerundet oder mit einer kleinen Kugel versehen ist, so giebt er gewöhnlich gute Luftbüschel, oder wenn die Maschine nicht in rechter Wirksamkeit ist, läßt sich die Bildung der Büschel durch verschiedene Mittel befördern; so kann man die Hand oder

irgend eine große leitende Fläche jenem Ende nähern, oder man kann das Ende kleiner und von schlecht leitender Substanz, z. B. Holz nehmen, oder von dem Conductor der Maschine auf einen zweiten, welcher das büschelgebende Ende trägt, die Elektricität in Funken übergehen lassen, oder endlich die Luft um das Stabende verdünnen (1425).

Daß der Büschel keine continuirliche Entladung sey, geht schon daraus hervor, daß man allmälige Uebergänge von Funken in Büscheln nachweisen kann. Bei richtigem Größenverhältniß der kleinen Kugel zu der Kraft der Maschine erhält man Büschel, in welchen man unmittelbar sieht, daß er aus rasch einander folgenden stark verästelten Funken besteht; wirkt nun die Maschine noch kräftiger, oder setzt man bei unveränderter Wirksamkeit der Maschine eine noch kleinere Entladungskugel auf, so erhält der Büschel ein mehr gleichförmiges Ansehn, welches Faraday sehr gut mit folgenden Worten beschreibt: »Ein kurzer kegelförmiger heller Theil schießt geradezu von der Mitte des Knopfes aus, und breitet sich in einem kleinen Abstande von der Kugel plötzlich in einen breiten Büschel von blassen Zweigen aus, die in zitternder Bewegung sind, begleitet von einem leisen knisternden Geräusche (1426).

Auf den ersten Blick scheint ein solcher Büschel zusammenhängend zu seyn, allein Wheatstone hat gezeigt, daß er aus einer Reihe intermittirender Entladungen besteht (P. A. XXXIV. 469), was sich wohl bei dem allmäligen Uebergang von Funken in Büschel erwarten ließ. Faraday giebt eine ganz einfache Methode an, die continuirlich scheinenden Büschel in seine elementaren Theile ohne Hülfe des Wheatstone'schen rotirenden Spiegelapparates zu zerlegen, er sagt nämlich: wenn man das Auge nicht durch eine Bewegung des Kopfes, sondern des Augapfels selbst rasch quer durch die Richtung des Büschels führt, indem man standhaft erst 10 bis 15 Grad darüber und dann eben soviel darunter wegsieht, so löst sich der allgemeine Büschel in eine Anzahl besonderer Büschel auf (1427). Mir hat diese Zerlegungsmethode nicht recht gelingen wollen.

Bei Anwendung einer kleineren Kugel wird der allgemeine Büschel kleiner, und das Geräusch, obwohl schwächer, doch continuirlicher. Bei Auflösung in seine elementaren Bestandtheile zeigen sie sich dann in weit kürzern Intervallen auftretend

Bei Anwendung eines Drahtes mit rundem Ende wird der Büschel noch kleiner, aber immer noch in successiven Entladungen trennbar. Das Geräusch, obwohl schwächer, wird höher im Klang und ein deutlicher musikalischer Ton.

In der That entspringt das Geräusch aus dem wiederholten Laut einer jeden einzelnen Entladung, und da diese unter gewöhnlichen Umständen in fast gleichen Zwischenräumen auftreten, so entsteht ein bestimmter Ton,

dessen Höhe mit vermehrter Schnelligkeit und Regelmäßigkeit der Entladung steigt.

Werden immer dünnere Drähte angewandt, so werden immer kleinere Lichtbüschel erhalten, bis sie endlich kaum noch als Büschel erkannt werden können. So lange indessen noch ein Geräusch gehört wird, läßt sich die Entladung auch durch das Auge als intermittirend erkennen; sobald das Geräusch verschwindet, wird das Licht continuirlich, der Büschel geht in ein Glimmen über.

Für die, welche nicht gewohnt sind, das Auge in der oben beschriebenen Weise zu gebrauchen, ist Wheatstones Apparat mit dem rotirenden Spiegel anzuwenden. Ein anderes treffliches Verfahren (den Büschel zu zerlegen) besteht darin, daß man den Lichtbüschel am Ende eines Stabes erzeugt, den man in der Hand dem Conductor der Maschine gegenüber hält und darauf rasch von einer Seite zur andern bewegt, während das Auge ruhig bleibt (1428 — 1433).

Büschel in verschiedenen Gasen. Die Versuche über Büschel in ver- 83
schiedenen Gasen stellte Faraday mit Messingstäben an, die ungefähr ¼ Zoll dick waren und deren zugerundete Enden sich in einer das Gas enthaltenden Glaskugel von 7 Zoll Durchmesser einander gegenüberstanden. Der eine dieser Stäbe war mit dem Conductor verbunden, der andere ableitend berührt. (P. A. XLVII. 553.)

Luft. — Unter gewöhnlichem Druck sind in Luft schöne positive Büschel von dem wohlbekannten Purpurlicht leicht zu erhalten. In verdünnter Luft sind die Verzweigungen sehr lang und die Kugel ausfüllend, das Licht ist sehr stark und von schöner Purpurfarbe, zuweilen mit einem Stich ins Rosenrothe.

Sauerstoff. — Unter gewöhnlichem Druck ist der Büschel sehr dicht und zusammengedrückt, von matt weißlicher Farbe. In verdünntem Sauerstoff sind Gestalt und Ansehen besser, die Farbe etwas purpurn, doch alle Eigenschaften sehr ärmlich in Vergleich zu denen in Luft.

Stickstoff giebt an der positiven Fläche die Büschel weit leichter als irgend ein anderes Gas, sie sind in Gestalt, Licht und Farbe fast immer schön, in verdünntem Stickgas sogar herrlich; sie übertreffen, was entwickelte Lichtmenge betrifft, die Entladungen in jedem andern Gase.

Wasserstoff giebt unter gewöhnlichem Druck einen besseren Büschel als Sauerstoff, doch keinen solchen wie Stickstoff; die Farbe ist grünlich. In verdünntem Wasserstoff sind die Verzweigungen, was Gestalt und Deutlichkeit betrifft, sehr schön, aber blaß von Farbe; mit einem weichen sammetartigen Ansehn und gar nicht gleich denen im Stickgas. Bei höchst verdünntem Zustand des Gases ist die Farbe des Lichtes ein blasses Graugrün.

Steinkohlengas. — Die Büschel sind etwas schwierig zu erzeugen; sie sind kurz und stark, gewöhnlich von grüner Farbe. In verdünntem Steinkohlengas sind die Formen besser, aber das Licht ist sehr schwach und die Farbe grau.

Kohlensäure liefert unter gewöhnlichem Druck sehr ärmliche Büschel. In verdünnter Kohlensäure ist der Büschel besser von Gestalt, doch schwächer an Licht, von matt grünlicher oder purpurrother Farbe.

Salzsäuregas. Unter gewöhnlichem Druck hält es schwer, einen Büschel in diesem Gas zu bekommen. Bei allmäliger Vergrößerung des Abstandes zwischen den zugerundeten Enden verschwinden die Funken plötzlich, wenn der Abstand ungefähr einen Zoll beträgt und die dann noch in der Kugel durch das Gas stattfindende Entladung ist eine ruhige und dunkle. Hin und wieder ist zwar auf Augenblicke ein kurzer Büschel zu erhalten, allein er verschwindet wiederum sehr schnell. Selbst bei Anwendung eines intermittirenden Funkenstroms aus der Maschine erhielt man nur schwierig Büschel und zwar sehr kurze; unterdessen gingen prachtvolle Büschel von verschiedenen Stellen der Maschine in die umgebende Luft über. Beim Verdünnen des Gases ward die Bildung des Büschels erleichtert, allein er war doch von kleiner, untersetzter Gestalt, sehr arm an Licht und sehr ähnlich am positiven und negativen Stabende. Bei noch größerer Verdünnung des Gases werden einige wenige große Verzweigungen von blaßbläulicher Farbe erhalten, die denen im Stickgas äußerst ungleich waren.

84 **Büschel in dichteren Mitteln.** Nicht blos in Luft und Gasen, sondern auch in weit dichteren Mitteln lassen sich elektrische Lichtbüschel erzeugen. Faraday erzeugte sie im Terpentinöl (1452) am Ende eines Drahtes, welcher durch eine Glasröhre in das in einem Metallgefäß enthaltene Oel ging. Der Büschel war jedoch klein und sehr schwierig zu erhalten; die Verzweigungen waren einfach, ausgestreckt und stark von einander divergirend. Das Licht war außerordentlich schwach, seine Wahrnehmung erfordert ein völlig dunkles Zimmer. Wenn sich in der Flüssigkeit einige feste Theilchen, wie Staub oder Seide befanden, so wurden die Büschel leichter erhalten.

85 **Verschiedenheit der positiven und negativen Büschelentladung.** Von dem, was Faraday über diesen Gegenstand sagt, hebe ich Folgendes hervor:

Bei der Büschelentladung in Luft zeigt sich ein großer Unterschied zwischen der positiven und negativen Fläche. Diesen Unterschied bezeichnete man früher so, daß man sagte »eine positiv geladene Spitze gäbe Büschel in der Luft, eine negativ geladene einen

Stern. Dieß ist jedoch nur für schlechte Leiter oder für metallische Leiter wahr, die intermittirend geladen werden. Wenn Metallspitzen frei in die Luft hineinragen, ist das positive und negative Licht im Ansehn nicht so sehr verschieden.

Die Erscheinungen ändern sich mit den Umständen sehr, lassen sich indeß wohl so angeben:

Wenn ein Metalldraht mit rundem Ende in freier Luft zur Bildung der Büschel-Entladung gebraucht wird, so sind die Büschel bei negativer Ladung des Drahtes sehr ärmlich und klein in Vergleich zu denen bei positiver Ladung des Drahtes; oder wenn eine große mit der Elektrisirmaschine verbundene Metallkugel positiv geladen und ihr eine feine unisolirte Metallspitze allmälig genähert wird, so erscheint an dieser, so lange sie in beträchtlichem Abstande ist, ein Stern, der bei der Annäherung gegen die Kugel, obwohl heller werdend, seine Gestalt nicht ändert, bis er dicht an derselben angekommen ist; ist dagegen die Kugel negativ geladen, so erscheint an der Spitze bei bedeutendem Abstand ebenfalls ein Stern, wie zuvor allein bei größerer Annäherung bildet sich an der Spitze ein Büschel, der sich bis zur negativen Kugel ausdehnt und noch näher hört der Büschel auf und es schlagen Funken über.

Wie wir schon oben S. 191. gesehen haben, geht die Funkenentladung schon bei weit geringeren Entfernungen in Büschel über, wenn die Fläche, an welcher die Entladung anfängt (die kleinere Kugel oder das abgerundete Stabende) negativ als wenn sie positiv ist; schreiten wir aber weiter fort in der Reihe der Veränderungen, so finden wir, daß der positive Büschel lange vor der negativen in Glimmen übergeht.

Das Ende eines 0,3 Zoll dicken Messingstabes gab am Conductor frei in die Luft ragend bei negativer Ladung einen kurzen lauten Büschel; sowohl durch das Auge als auch durch das Ohr wurde ermittelt, daß die successiven Entladungen ungleich rascher auf einander folgten, als bei positiver Ladung des Stabes zu gleichem Grade.

Bei positiver Ladung des Stabes war es leicht, durch rascheres Drehen der Maschine den Büschel in ein Glimmen zu verwandlen, allein bei negativer Ladung ließ sich die Umwandlung des Büschels in Glimmen durchaus nicht bewirken.

Eine Spitze gegenüber dem negativen Büschel zeigte einen Stern, und bei größerer Annäherung bewirkte sie zunächst eine Abnahme des negativen Büschels in Gestalt und Geräusch und zuletzt ein gänzliches Aufhören desselben, so daß das negative Ende ruhig und finster ward, und doch noch zu entladen fortfuhr (1469).

Wurde das zugerundete Ende eines dünneren Drahtes dem negativen Büschel genähert, so zeigte es (durch Vertheilung positiv geworden)

bei 8 Zoll Abstand ein ruhiges Glimmen, während der negative Büschel fortbestand. Mehr genähert erhöhte sich der Ton des negativen Büschels, eine schnellere Intermittenz anzeigend; noch näher sandte das positive Ende Veräſtelungen und deutliche Büschel aus und zugleich zog sich der negative Büschel in seinen Seitenrichtungen zusammen, eine eigenthümliche, schmale längliche Gestalt, wie ein Haarpinsel annehmend; beide Büschel waren gleichzeitig vorhanden, doch verschieden im Ansehen und besonders darin, daß die negativen Entladungen rascher folgten als die positiven. Als zu demselben Versuch ein noch dünnerer positiver Draht gebraucht wurde, erschien zuerst an ihm ein Glimmen und dann ein Büschel, der bei einer bestimmten Entfernung dem negativen ganz gleich wurde (1470).

In Luft ist bekanntlich der positive Büschel der überwiegende. In Stickgas ist er eben so groß und selbst größer als in Luft. In Waſſerſtoff verliert der positive Büschel etwas von seiner Ueberlegenheit, in dem er nicht so gut ist wie in Stickgas und Luft, während der negative Büschel nicht beeinträchtigt erscheint. In Sauerſtoff ist der positive Büschel gedrungen und ärmlich, während der negative nicht verschlechtert scheint; beide sind so gleich, daß das Auge sie häufig nicht unterscheiden kann. In Steinkohlengas sind die Büschel schwierig hervorzubringen und der positive ist nicht viel ausgezeichneter als der negative, weder bei gewöhnlichem noch bei niederm Druck. In Kohlenſäure findet diese Annäherung im Charakter ebenfalls Statt. In Salzſäuregas ist der positive Büschel sehr wenig besser als der negative.

86 **Glimmentladung.** (P. A. XLVIII. 424.) Das Glimmen scheint von einer raschen und fast ununterbrochenen Ladung der Luft dicht bei dem Conductor abzuhängen. Niemals vermogte Faraday das Glimmen in sichtbar intermittirende Elementarentladungen zu zerlegen.

Das Glimmen entsteht

1) durch Verkleinerung der ladenden Fläche. Am Ende eines Metallstabs mit stumpfer conischer Spitze läßt sich um so leichter ein phosphorescirendes stetiges Glimmen erhalten, je dünner sie ist;

2) durch Verstärkung der Kraft der Maſchine. Zugerundete Enden, welche nur Lichtbüschel geben, wenn die Maschine schwach wirkt, liefern das Glimmen leicht, wenn die Maschine in gutem Gang ist;

3) durch Verdünnung der Luft. Eine Messingkugel von $2^1/_2$ Zoll Durchmesser, die unter der Glocke einer Luftpumpe vertheilend positiv gemacht wurde, bedeckte sich zum Theil mit einem Glimmen, als der Luftdruck auf 4,4 Zoll verringert worden war. Durch eine geringe Ajustirung ließ sich die Kugel ganz mit diesem Licht bekleiden. Bei Anwen-

dung einer Messingkugel von 1¼ Zoll Durchmesser, die durch eine vertheilende negative Spitze vertheilt positiv gemacht wurde, war die Erscheinung sehr schön. Das Glimmen verbreitete sich über die ganze positive Kugel und nahm allmälig an Helligkeit zu, bis es zuletzt sehr leuchtend war; auch richtete es sich auf, gleich einer schwachen Flamme, von der Höhe eines halben Zolls und mehr.

Das negative Glimmen in der Luft unter gewöhnlichem Druck zu erhalten, ist schwierig; ja es ist noch zweifelhaft, ob der sogenannte negative Stern selbst auf feinen Spitzen nicht ein sehr reducirter, aber noch intermittirender Lichtbüschel oder ein eigentliches Glimmen ist.

In verdünnter Luft läßt sich das negative Glimmen leicht erhalten. Wenn die zugerundeten Enden zweier etwa 0,2 Zoll dicker Metallstäbe in verdünnter Luft etwa 4 Zoll von einander abstehen, dann kann man das Glühen leicht auf beiden Stäben erhalten, und nicht blos an den Enden, sondern noch ein oder zwei Zoll dahinter. Auch eine Kugel ließ sich in verdünnter Luft mit negativem Glimmen bekleiden, sie mogte nun vertheilend oder vertheilt seyn.

Das Glimmen zeigt sich in allen Gasen, welche Faraday bisher untersuchte. Er glaubt es auch in Terpentinöl erhalten zu haben, doch war es jedenfalls sehr matt und gering.

Das Glimmen ist stets von einem Winde begleitet, der entweder von dem glimmenden Theile weg, oder auf ihn zubläst; das erstere ist jedoch das häufigste. Wenn man macht, daß der leichte und regelmäßige Zutritt der Luft zu einem das Glimmen zeigenden Theile gestört oder verhindert wird, so hört das Glimmen auf.

Häufig gelingt es, die Büschel, welche ein Stabende giebt, dadurch in Glimmen zu verwandeln, daß man an diesem Ende die Bildung eines Luftstroms unterstützt.

Dunkle Entladung. Wenn man einem auf dem Conductor der 87
Maschine aufgesteckten abgerundeten Metalldraht einen ähnlichen in einiger Entfernung entgegenhält, so ist es leicht, an beiden Stabenden eine Lichterscheinung zu erhalten, während der Zwischenraum zwischen dem positiven und negativen Licht dunkel bleibt; außer diesen sehr häufig vorkommenden Phänomen macht aber Faraday noch auf einen ganz besonderen Fall dunkler Entladung aufmerksam.

Zwei Messingstäbe von 0,3 Zoll Dicke waren von der gegenüberliegenden Seite her in eine Glaskugel eingelassen und mit ihren Enden in Berührung gebracht; die Luft in der Kugel war stark verdünnt. — Nun wurde eine elektrische Entladung aus der Maschine durch sie hindurchgeleitet, und während diese fortfuhr, wurden die Enden von einander getrennt. Im Moment der Trennung erschien auf dem Ende des negativen

Stabes ein andauerndes Glimmen, während das poſitive Ende dunkel blieb. Bei Vergrößerung der Entfernung erſchien ein purpurfarbener Streif oder Nebel auf dem Ende des poſitiven Stabes und ſchritt vorwärts direct auf den negativen Stab los; er verlängerte ſich bei Vergrößerung des Zwiſchenraums, vereinigte ſich aber niemals mit dem negativen Glimmen, indem ſtets ein kurzer dunkler Raum dazwiſchen blieb. Dieſer dunkle Raum von ungefähr $\frac{1}{16}$ bis $\frac{1}{20}$ Zoll war anſcheinend unveränderlich in Ausdehnung und Lage in Bezug auf den negativen Stab; auch erlitt das negative Glimmen keine Veränderung. Der Effect war auch gleich, das negative Ende mogte vertheilend oder vertheilt ſeyn.

Mit Kugeln ſtatt der abgerundeten Stabenden wurden ähnliche Erſcheinungen erhalten.

88 **Fortführende Entladung.** Beim Funken, beim Büſchel und wohl auch beim Glimmen wird das Di-elektricum durchbrochen, und deshalb nennt Faraday dieſe Entladungsformen auch die zerreißende Entladung. Bei den Lichtbüſcheln und noch mehr beim Glimmen tritt aber noch eine weitere Entladungsform ein, welche ſich durch den ſogenannten elektriſchen Wind kund giebt, und welche darin beruht, daß die Theilchen des Di-elektricums, welche zunächſt mit dem geladenen Leiter (alſo etwa dem elektriſchen Stabende) in Berührung ſind, eine elektriſche Ladung annehmen und in Folge deſſen abgeſtoßen werden, und ſo die Ladung des Leiters mit fortführend, denſelben entladen.

Warum eine Spitze für die Erzeugung ſolcher Ströme ſo außerordentlich günſtig ſeyn müſſe, iſt einleuchtend. An einer ſolchen Spitze erreicht die Ladung der Luft zuerſt die erforderliche Intenſität, von ihm weichen die geladenen Theilchen zurück, und die mechaniſche Kraft, welche ſie der Luft einprägt, um einen Strom zu bilden, wird in jeder Hinſicht begünſtigt durch die Geſtalt und Lage des Stabes, deſſen Ende die Spitze iſt.

Wenn Staubtheilchen in der Luft ſchweben, ſo wird dadurch die Fortführung der Elektricität begünſtigt.

Bei Anwendung von Terpentinöl als Di-elektricum läßt ſich die Wirkung und der Lauf kleiner leitender fortſchaffender Theilchen gut beobachten.

Beim Terpentinöl wurde eine ſehr auffallende Erſcheinung beobachtet, von der es noch zweifelhaft iſt, ob ſie von dem Fortführungsvermögen der Theilchen in demſelben oder von irgend einer andern Wirkung derſelben herrührt. — In einem Glaßgefäße, auf deſſen Boden eine große uniſolirte Silberſcheibe lag, befand ſich eine Portion dieſes Oels, in welches oben ein elektriſirter Metallſtab mit rundem Ende eintauchte. Die Iſolation war ſehr gut. Als man aber den Stab mit einem daran hängenden Tropfen Gummiwaſſer eintauchte und dann elektriſirte, ſtrömte das Gummiwaſſer ſogleich in feinen Fäden fort und zerſtreute ſich raſch im Ter-

pentinöl. Während der Zeit, daß vier Tropfen sich auf diese Weise mit dem Di-elektricum vermengt hatten, hatte das Oel größtentheils sein Isolationsvermögen verloren und die Flüssigkeit war schwach getrübt. Auf bloße Filtration durch Papier erlangte es seine frühere Klarheit wieder und isolirte nun so gut wie vorher. Leitende flüssige Enden statt starrer Spitzen erläutern sehr schön die Bildung von Strömen, so wie deren Effecte und Einflüsse auf Erhöhung der Zustände, unter denen sie begonnen. Es sey das zugerundete Ende eines ungefähr 0,3 Zoll dicken Stabes in freier Luft abwärts gerichtet, es sey amalgamirt und es hänge daran ein Tropfen Quecksilber. Nun elektrisire man es kräftig. Das Quecksilber wird das Phänomen des Glimmens zeigen, ein Luftstrom wird längs des Stabes fortfließen und aus dem Quecksilber gerade heruntergehn. Die Gestalt des Metalltropfens wird dadurch etwas geändert, er wird etwas verlängert, an den Seiten also wird seine Krümmung etwas vermindert, während die Krümmung am unteren Ende etwas zunimmt.

Fig. 74.

Man nehme nun statt des Quecksilbertropfens einen Tropfen starker Chlornatriumlösung. Bei Elektrisirung desselben wird wohl ein Theil zerstreut, allein wenn die Elektricität nicht zu stark ist, bleibt das meiste und bildet einen conischen Tropfen (Fig. 74), begleitet von einem starken Winde. Wenn Glimmen da ist, hat der Tropfen eine glatte Oberfläche, bildet sich aber ein kurzer schwacher Büschel, so ist eine kleine zitternde Bewegung in der Flüssigkeit sichtbar.

Mit einem Wassertropfen waren die Erscheinungen von gleicher Art, am besten erhielt man sie, wenn eine Portion Gummiwasser oder Syrup an einer Kugel hafteten, Fig. 75. Drehte man die Maschine langsam, so bildete sich ein schöner, großer, ruhiger, conischer Tropfen mit concavem Profil und kleinem zugerundetem Ende, an dem das Glimmen erschien, während von der Spitze des Kegels ein steter Wind ausging, von hinreichender Stärke, um die Oberfläche von gegenübergehaltenem unisolirtem Wasser herabzudrücken. Drehte man die Maschine rascher, so wurde ein Theil des Wassers fortgetrieben. Der kleine zugespitzte Rückstand war etwas rauh auf der Oberfläche und man hörte das Geräusch successiver Büschel-Entladungen. Bei noch mehr Elektricität ward noch mehr Wasser zerstreut; das was zurückblieb, ward wechselsweise verlängert und zusammengezogen; man hörte starke Büschel-Entladung. Wenn Wasser von unten her dem Tropfen genähert wurde, zeigte es nicht mehr den regelmäßigen starken, zusammengezogenen Luftstrom wie zuvor; und wenn die Entfernung

Fig. 75.

eine ſolche war, daß Funken überſchlugen, ward das Waſſer darunter eher angezogen als fortgeſtößen und der Luftſtrom hörte auf.

Daß der Tropfen, wenn er von Waſſer oder einer beſſer leitenden Flüſſigkeit iſt, hauptſächlich durch den Luftſtrom ſeine Kegelgeſtalt bekommt, läßt ſich folgendermaßen zeigen. Man halte eine ſcharfe Spitze unter den coniſchen Tropfen, ſogleich verliert er ſeine Kegelform, zieht ſich zuſammen, wird rund; der Luftſtrom aus ihm hört auf und wird durch einen Strom aus der Spitze erſetzt, welcher, wenn ſie dem Tropfen nahe genug gehalten wird, denſelben ſeitwärts bläſt.

Tropfen von ſchlechteren Leitern, wie Oel oder Terpentinöl, werden zu Fäden ausgeſponnen und fortgeführt, nicht allein weil die auf ihrer Oberfläche dahinſtreichende Luft ſie wegfegen hilft, ſondern auch weil ihre iſolirenden Theilchen denſelben Ladungszuſtand wie die Luft annehmen, und da ſie unfähig ſind, ſich gegen die Lufttheilchen in ſtärkerem Grade zu entladen, wie dieſe unter ſich, ſo werden ſie durch dieſelben Urſachen fortgeführt, welche dieſe wegtreiben. Eine ähnliche Erſcheinung mit geſchmolzenem Siegellack an einer Metallſpitze bildet einen alten und wohl bekannten Verſuch.

Ein Tropfen Gummiwaſſer in der entleerten Glocke der Luftpumpe erlitt bei der Elektriſirung keine merkliche Aenderung ſeiner Geſtalt, was zum Theil von der geringen Stärke der Luftſtröme, zum Theil daher rühren mag, daß der Spannungszuſtand der Elektricität auf die Kugel in verdünnter Luft nicht ſo groß wird, wie in verdichteter.

Damit man mich nicht mißverſtehe, ſagt Faraday, muß ich bemerken, daß ich den Kegel nicht für alleinig gebildet durch die Luftſtröme anſehe. Wenn der Tropfen aus ſchlecht leitender Subſtanz beſteht, rührt ein Theil des Effects von dem elektriſirten Zuſtand der Theilchen her.

In dichten iſolirenden Di-elektricis zeigen die Ströme einen außerordentlichen Grad von mechaniſcher Kraft. Bringt man z. B. wohl rectificirtes Terpentinöl in ein Glasgefäß, taucht an verſchiedenen Orten in daſſelbe zwei Drähte, von denen der eine mit dem Conductor der Maſchine verbunden, der andere ableitend berührt iſt, und dreht man die Maſchine, ſo wird die Flüſſigkeit durch ihre ganze Maſſe hin in heftige Bewegung gerathen, während ſie zugleich an dem Draht der Maſchine 2, 3, 4 Zoll aufſteigt und von ihm in Strahlen in die Luft ſchießt.

Ein Tropfen Queckſilber, der an einer amalgamirten Meſſingkugel hing, behielt ſeine Geſtalt in der Luft faſt unverändert, wenn er aber in Terpentinöl getaucht ward, ſo wurde er ſehr ſpitz und es konnten ſogar Queckſilbertheilchen ausgeſponnen und fortgeführt werden. Die Geſtalt des flüſſigen Metalls war gerade ſo wie die von Syrup in Luft.

Gießt man auf den Boden eines Gefäßes Queckſilber, welches man mit dem Conductor der Elektriſirmaſchine verbindet, gießt man darauf eine an-

dere Flüssigkeit, etwa Terpentinöl, so beobachtet man, wenn man einen mit einer Kugel von $^3/_4$ Zoll Durchmesser endigenden Stab in die Flüssigkeit eintaucht, sehr auffallende Erscheinungen. Zieht man die Kugel wieder in die Höhe, so daß sie beinahe zum Niveau der Flüssigkeit heraustritt, so bleiben große Portionen derselben an ihr haften, Fig. 76. Auch bei weiterer Hebung der Kugel bleibt sie noch durch eine Säule Terpentinöl mit dem

Fig. 76. Fig. 77. Fig. 78.

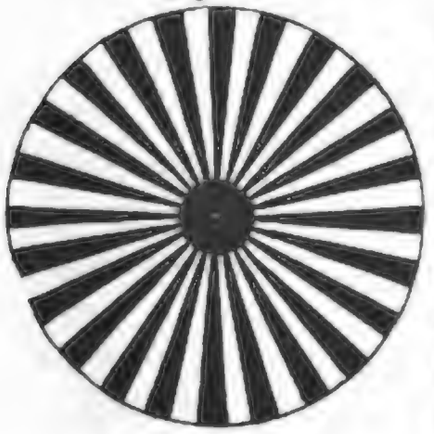
Gefäße verbunden Fig. 77. Setzt man die Maschine in größere Thätigkeit, so wird das Gehobene massiger und steigt auch höher, dabei die Gestalt Fig. 78 annehmend.

Bei diesen Erscheinungen zeigt sich ein sehr merkwürdiger Umstand, nemlich, daß eine positiv geladene Kugel eine weit höhere und breitere Säule hebt als eine negativ geladene.

Gesetze der Lichtstärke des elektrischen Funkens. Unter dem 89
Titel: »Etudes de photometrie électrique, publicirt Masson im 14ten Bande (1845, 3ter Theil) der annales de chimie et de physique p. 129 seine Untersuchungen über die Lichtstärke des elektrischen Funkens.

Die gewöhnlichen Photometer lassen sich nur für permanente und nicht für momentane Lichtquellen in Anwendung bringen, zur Messung der Lichtstärke des elektrischen Funkens, welcher nur eine momentane Erleuchtung giebt, mußte also Masson auf ein neues photometrisches Princip sinnen. In der That hat er seine Aufgabe auf eine sehr sinnreiche Weise gelöst.

Fig. 79.



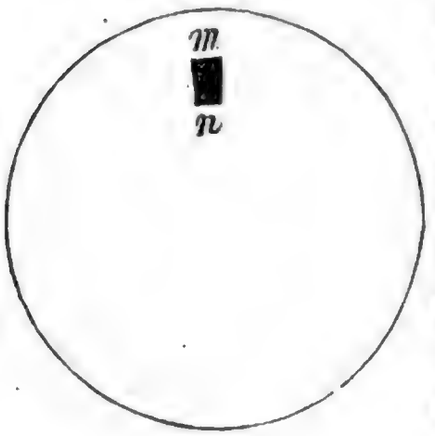
Wenn eine Scheibe, welche in gleichgroße, abwechselnd weiße und schwarze Sectoren getheilt ist, wie Fig. 79, so wird man bei rascher Rotation derselben die einzelnen Sectoren nicht unterscheiden können, wenn die Scheibe durch eine constante Lichtquelle beleuchtet ist; wird aber außerdem die Scheibe momentan durch einen elektrischen Funken erleuchtet, so werden die Sectoren der rotirenden Scheibe wieder sichtbar, und zwar um so mehr, je heller

der elektrische Funken ist. Schwächt man aber die Erleuchtung durch den elektrischen Funken allmälig, während die Erleuchtung durch die beständige Lichtquelle stets dieselbe bleibt, so wird man zu einem Punkt kommen, wo die Sectoren eben aufhören unterscheidbar zu seyn, und in diesem Falle ist die Stärke der Erleuchtung durch den elektrischen Funken ein bestimmter Bruchtheil der Erleuchtung durch die constante Lichtquelle, dessen Größe von der Individualität des betrachtenden Auges abhängt.

Sehen wir zunächst, auf welche Weise diese Gränze die Unterscheidbarkeit ausgemittelt wurde.

Auf einer weißen Scheibe, Fig. 80, sey ein Stück eines Sectors geschwärzt; wird die Scheibe rasch um ihren Mittelpunkt gedreht, so wird das geschwärzte Stück einen Ring bilden, welcher etwas dunkler von dem weißen Grunde der Scheibe absticht; dieser Ring wird nun um so blasser erscheinen, je schmäler das schwarze Sectorenstück ist, und wenn man den Versuch mit einer ganzen Reihe solcher Scheiben anstellt, von denen jede folgende ein etwas schmäleres schwarzes Sectorenstück *m n* hat, so wird man endlich zu einer solchen kommen, bei welcher der dunkle Ring eben aufhört, unterscheidbar zu seyn.

Fig. 80.



Nehmen wir an, dies sey der Fall, wenn die Breite des Sectorenstücks $^1/_{100}$ vom ganzen Kreisumfang beträgt, so ist klar, daß die Helligkeit des Ringes um $^1/_{100}$ der Helligkeit der Scheibe geringer ist, als diese, das Auge kann also in diesem Fall eine Erleuchungsdifferenz von $^1/_{100}$ nicht mehr unterscheiden.

Masson machte seine Versuche mit Scheiben, auf denen die Breite des Sectorenstücks $^1/_{50}$, $^1/_{60}$, $^1/_{70}$, $^1/_{80}$, $^1/_{90}$, $^1/_{100}$, $^1/_{110}$, $^1/_{120}$ des ganzen Umfangs betrug, und fand mit Hülfe derselben für schwache Augen, daß eine Erleuchtungsdifferenz von $^1/_{50}$ bis $^1/_{70}$ die Gränze des Wahrnehmbaren ist. Bei gewöhnlichen Augen ist diese Gränze $^1/_{80}$ bis $^1/_{100}$, für sehr gute Augen $^1/_{100}$ bis $^1/_{120}$.

Die Intensität der Erleuchtung variirend, fand Masson, daß die Sensibilität für ein und dasselbe Individuum sich nicht ändert, wenn sie (die Erleuchtung) nur hinreichend ist, um gewöhnlichen Druck zu lesen.

Die rotirende Scheibe mit farbigem Lichte beleuchtend, fand Masson ferner, daß die Gränze der Unterscheidbarkeit der Beleuchtungsdifferenz von der Farbe unabhängig ist.

Gehen wir nun zum eigentlichen Gegenstand der Untersuchung Masson's selbst über. Die Anordnung seiner Versuche war im Wesentlichen folgende.

Eine rotirende Scheibe $a\,b$ Fig. 81 (die Rotation war durch ein Uhrwerk hervorgebracht), welche in der Weise in weiße und schwarze Sectoren getheilt war, wie Fig. 79 zeigt, war in der Richtung von $A\,C$ her durch das constante Licht einer Lampe L erleuchtet, welche in der Richtung dieser Linie verschiebbar war. Diese Lampe befand sich in einem schwarzen Kasten, so daß sie nur durch eine Röhre ihr Licht auf die rotirende Scheibe werfen konnte. In der Richtung der Linie $B\,C$ war ein Funkenmikrometer F verschiebbar. Die eine Kugel dieses Funkenmikrometers war mit der oberen, die andere Kugel desselben mit der unteren Belegung einer horizontalen Glastafel in leitender Verbindung; der Funken schlug allemal zwischen den beiden Kugeln des Funkenmikrometers über, sobald die Ladung der Scheibe eine gewisse Gränze erreicht hatte, welche von der Entfernung der Kugeln des Funkenmikrometers abhing.

Fig. 81.

Zunächst überzeugte sich Masson davon, daß auch für das momentane Licht des elektrischen Funkens das Gesetz gilt, daß die Stärke der Erleuchtung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung steht.

Bei einer bestimmten Entfernung dieser Lampe von der Scheibe $a\,b$, wurde der Funkenmikrometer allmälig von der Scheibe entfernt, bis beim Ueberschlagen des Funkens die Sectoren der rotirenden Scheibe eben nicht mehr unterscheidbar waren, und dann die Entfernung des Funkens von der Scheibe bestimmt. Nun wurde die Lampe weiter fortgerückt, und derselbe Versuch mit unveränderter Entfernung der Kugeln des Funkenmikrometers wiederholt. Die folgende Tabelle giebt die Resultate einer solchen Versuchsreihe. Z bedeutet die Entfernung der Lampe, Y die entsprechende Entfernung des Funkenmikrometers von der Mitte der Scheibe $a\,b$.

Z	Y	$\frac{Z}{Y}$
540mm	407mm	1,32
640	489	1,30
740	569	1,30
840	648	1,29
940	737	1,28
1040	826	1,25
	Mittel	1,29.

Da Z und Y stets in gleichem (wenigstens sehr nahe gleichem) Verhältniß wachsen, so ist klar, daß mit wachsender Entfernung die Erleuchtung für beide Lichtquellen nach demselben Gesetze abnimmt, daß also die Erleuchtung durch einen elektrischen Funken ebenfalls dem Quadrat der Entfernung von demselben umgekehrt proportional ist.

Dasselbe Resultat gaben mehrere andere Versuchsreihen, welche Masson ebenfalls in Tabellen zusammengestellt hat; hier wie im Folgenden mag es genügen, zur Begründung eines jeden Gesetzes nur eine der vielen tabellarisch zusammengestellten Versuchsreihen anzuführen.

Die Werthe von Y, wie sie in den Tabellen angeführt sind, sind stets das Mittel aus zwei Versuchen. Nachdem einmal die Entfernung Y des Funkenmikrometers von der rotirenden Scheibe ermittelt worden war, bei welcher eben die Sectoren nicht mehr unterschieden werden können, wurde der Funkenmikrometer der Scheibe wieder bedeutend genähert, und dann abermals bis zum Verschwinden der Sectoren entfernt. Die beiden so ermittelten Werthe von Y differiren in den verschiedenen Versuchsreihen höchstens um ein Centimeter, ein Beweis für die Schärfe, welche diese Beobachtungsmethode zuläßt.

90 **Variation der Lichtstärke des Funkens bei veränderter Schlagweite.** Ueber diesen Punkt stellte Masson ebenfalls mehrere Versuchsreihen an; die folgende Tabelle enthält die Resultate einer derselben.

X	Y	$\frac{Y}{X}$
2,5mm	318mm	127
3,5	447	127
4,5	572	127
5,5	697	126
6,5	830	127
7,5	957	127
		Mittel 127.

X bezeichnet hier die Schlagweite, Y die entsprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe, bei welcher aber die Sectoren derselben nicht mehr unterschieden werden können, vorausgesetzt, daß die constante Beleuchtung der rotirenden Scheibe von *A C* her während der ganzen Versuchsreihe unverändert bleibt.

Aus der obigen Tabelle übersieht man leicht, daß die Schlagweite und die entsprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe stets in gleichem Verhältniß geändert werden müssen, wenn die Beleuchtung der Scheibe dieselbe bleiben soll. Also bei doppelter und dreifacher Schlagweite muß der Funken 2 mal, 3 mal so weit von der Scheibe entfernt werden, wenn ihre Erleuchtung durch die Funken ungeändert bleiben soll.

Durch Verdoppelung der Entfernung wird die Intensität der Erleuchtung 4 mal schwächer; sie bleibt jedoch ungeändert, wenn auch die Schlagweite verdoppelt wird, folglich muß bei doppelter Schlagweite die Lichtstärke des Funkens 4 mal größer seyn. Für n fache Entfernung ist die Erleuchtung durch den elektrischen Funken n^2 mal schwächer; sie bleibt aber ungeändert, wenn auch die Schlagweite n mal größer gemacht wird, es muß also bei n facher Schlagweite die Lichtstärke des Funkens n^2 mal größer seyn, oder in Worten:

Die Lichtstärke des elektrischen Funkens ist dem Quadrat der Schlagweite proportional.

Einfluß der Größe und Form der Condensatorfläche. Die Ge- 91
stalt des Condensators (d. h. der auf beiden Seiten mit Metallbelegungen versehenen Glastafeln, deren Entladungsschlag durch den Funkenmikrometer hindurchgeht) hat keinen Einfluß auf die Lichtstärke des elektrischen Funkens, wenn nur die Flächenausdehnung der Belegung dieselbe bleibt. Bedeutenden Einfluß übt dagegen die Größe der Condensatorplatten aus.

Bei unveränderter Entfernung des constanten Lichtes, bei unveränderter Schlagweite und unveränderter Dicke der Glastafel wurde die Oberfläche der Belegungen geändert und jedesmal die entsprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe beobachtet, für welche die Sectoren eben aufhören, bemerklich zu seyn. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Oberfläche	Verhältniß	Y	Y^2	Verhältniß
□mm		mm	□mm	
22500	1,77	314	98596	1,78
40000		420	176400	
60000	2,66	514	264196	2,67

Die erste Vertikalreihe enthält die Größe der Oberflächen der Belegung, die zweite giebt das Verhältniß der ersten und zweiten und dann das Verhältniß der ersten zur dritten der besagten Oberflächen an. Die dritte Reihe giebt die entsprechenden Y, die vierte die Quadrate dieser Entfernungen an, die letzte Vertikalreihe endlich enthält das Verhältniß des ersten Y^2 zum zweiten, und des ersten zum dritten.

Aus der Vergleichung der zweiten und fünften Vertikalreihe ergiebt sich nun ganz einfach, daß

$$\frac{F}{Y^2} = n \ldots . 1)$$

d. h., daß der Flächeninhalt F der Belegung des Condensators zu dem Quadrat der Entfernung Y in einem constanten Verhältniß stehen muß,

wenn die Erleuchtung der Scheibe $a\,b$ durch den elektrischen Funken stets gleich groß bleiben soll.

Nun ist aber bei gleichbleibender Erleuchtung der Scheibe

$$J = c\,Y^2,$$

wenn J die Lichtintensität des Funkens und n einen constanten Factor bezeichnet, oder auch

$$\frac{J}{Y^2} = c \ldots 2).$$

Durch Combination der Gleichungen 1) und 2) ergiebt sich aber

$$J = \frac{N}{C}\,F.$$

oder in Worten: es ist die Lichtstärke des elektrischen Funkens dem Flächeninhalte der Belegungen proportional.

92 **Verhältniß zwischen der Intensität des elektrischen Funkens und der Dicke des Condensators.** Bei gleicher Oberfläche der Belegungen wurde die Dicke der Glastafel geändert; und für jede derselben die Entfernung Y ermittelt, für welche eben die Sectoren aufhören, bemerklich zu seyn, während natürlich die Beleuchtung durch die Lampe ungeändert blieb. Die folgende Tabelle enthält einige der erhaltenen Resultate:

	Decke der Glastafel.	Quadratwurz. aus der Dicke.	Y
1	1,31 mm	1,14	1044 mm
2	1,83	1,35	904
3	2,51	1,57	775

Nun ist $\frac{135}{114} = 1{,}18$ und $\frac{1044}{904} = 1{,}15$, d. h. beide Quotienten sind sehr nahe gleich oder $\frac{\sqrt{d''}}{\sqrt{d'}} = \frac{Y'}{Y''}$ ferner ist $\frac{157}{114} = 1{,}27$ und $\frac{1044}{775} = 1{,}35$, also auch nahezu $\frac{\sqrt{d'''}}{\sqrt{d'}} = \frac{Y'}{Y'''}$ und endlich ist $\frac{157}{135} = 1{,}16$ und $\frac{904}{775} = 1{,}17$, also $\frac{\sqrt{d'''}}{\sqrt{d''}} = \frac{Y''}{Y'''}$, oder in Worten: die Werthe von y verhalten sich nahezu umgekehrt, wie die Quadratwurzeln der entsprechenden Glasdecken, d. h.

$$\sqrt{d} = \frac{n}{Y}$$

oder:

$$d = \frac{p}{Y^2}$$

es ist aber ferner $J = cy^2$, folglich

$$d \times J = c \cdot p$$

oder

$$J = \frac{cp}{d}$$

d. h. die Intensität des Funkens ist der Dicke des Condensators umgekehrt proportional.

Die übrigen Versuche, welche Masson über diese Frage anstellte, stimmen meist weniger gut mit der eben entwickelten Beziehung überein. Er schreibt dieß dem Umstande zu, daß er mit seinen Mitteln die Glasdicke nicht genau genug habe messen können und daß die verschiedenen Condensatoren wohl nicht gleiches »Condensationsvermögen« haben mögen.

Einfluß der Natur der Pole auf den elektrischen Funken. 93
Masson fand, daß die der Funken etwas intensiver ist, wenn man unter sonst ganz gleichen Umständen denselben zwischen Blei-, Zink- und Zinnkugeln überschlagen läßt, als wenn die Kugeln (natürlich bei gleicher Größe) von Kupfer, Messing oder Eisen sind. Masson meint, daß dieß von der ungleichen Festigkeit der Metalle abhänge. Bei allen Versuchen nämlich zeigen sich Spuren einer Ueberführung des Metalls von einem Pol zum andern; da nun z. B. das Blei weniger fest ist als das Kupfer, so wird bei gleicher Spannung der Elektricität mehr Blei als Kupfer übergeführt werden, der Schließungsbogen befindet sich dadurch unter denselben Umständen, als ob man plötzlich seine Leitungsfähigkeit vermehrt hätte, das Licht muß also lebhafter werden.

Für diese Ansicht spricht der Umstand, daß die Intensität des Funkens sehr bedeutend vermehrt wird, wenn man polirte Messingkugeln mit solchen vertauscht, welche auf der Oberfläche amalgamirt sind, wo offenbar die Ueberführung sehr erleichtert ist.

Der Funken zwischen Bunsen'schen Kohlen ist sehr weiß in der Mitte, röthlich am Rande und hat etwas flammenartiges.

Die Natur des elektrischen Lichtes. Ueber die Natur des elektri- 94
schen Funkens hat man zwei Hypothesen; die erste betrachtet ihn als eine Bewegung, welche dem Lichtäther durch den elektrischen Funken mitgetheilt wird, nach der zweiten Hypothese entsteht das elektrische Licht durch ponderabele Theilchen, welche glühend durch die Elektricität übergerissen werden.

Masson spricht sich mehr für die erste Hypothese aus, wofür auch seine Versuche sprechen, da die Intensität des Funkens keineswegs von der Schmelzbarkeit und Oxydirbarkeit der Kugeln abhängt, wohl aber von der Festigkeit. Würden wegen der geringeren Festigkeit des Metalls mehr Theilchen übergeführt, so wird die Leitungsfähigkeit des Schließungsbogens vermehrt, die-

ſelbe Elektricitätsmenge alſo in kürzerer Zeit entladen, wodurch ein lebhafteres Licht erzeugt wird.

Die ſo eben beſprochenen Geſetze der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens ſind in der folgenden Formel ausgedrückt

$$J = H \frac{X^2 . s}{Y^2 e} \ldots\ldots 1)$$

wenn J die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens,

X die Schlagweite,

s die Oberfläche des Condenſators,

Y die Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe des Photometers,

e die Dicke des Condenſators, und endlich

H einen conſtanten Factor bezeichnet, welcher von Elementen abhängt, die bis jetzt noch nicht ermittelt ſind

Setzt man in der Gleichung 1 $X = p \frac{q}{s}$, was erlaubt iſt, da ja Rieß gezeigt hat, daß die Schlagweite der elektriſchen Dichtigkeit proportional iſt (Seite 96), ſo kommt

$$J = \frac{m}{y^2} . \frac{q^2}{s^2} s \ldots\ldots 2)$$

wenn man $\frac{Hp^2}{e} = m$, d. h. gleich einem Conſtanten ſetzt, was erlaubt iſt, ſo lange man die Dicke e des Condenſators nicht ändert.

Die Intenſität des elektriſchen Lichtes iſt $\frac{q^2}{s^2}$ alſo dem Quadrat der elektriſchen Dichtigkeit, oder was daſſelbe iſt, der Tenſion der Elektricität und der Oberfläche s des Condenſators proportional.

Die Gleichung 1) läßt ſich auch ſo ſchreiben

$$J = \frac{H}{y^2 e} X s X.$$

Setzt man nun für das letztere X ſeinen Werth $p \frac{q}{s}$, ſo kommt

$$J = \frac{pH}{y^2 e} X q \ldots. 3)$$

oder in Worten: die Lichtintenſität des Funkens iſt der Schlagweite und der elektriſchen Quantität proportional.

Nach der Gleichung 2) iſt auch

$$J = \frac{m}{y^2} \frac{q^2}{s}$$

oder

$$J = P \frac{q^2}{s}.$$

Wie aber Rieß gezeigt hat, ist

$$W = Q \frac{q^2}{s}$$

die Wärmemenge, welche in einem Drahte frei wird, wenn man durch denselben die auf der Oberfläche s angesammelte Elektricitätsmenge q entladet.

Wenn also ein Entladungsschlag der elektrischen Batterie an einer Unterbrechung der Schließung einen Funken erzeugt, so ist die Lichtstärke desselben proportional der Wärme, welche derselbe Entladungsschlag in einem Drahtstück hervorbringt, welches einen Theil des Schließungsbogens ausmacht.

Am Schlusse seiner Abhandlung schlägt Masson den unter bestimmten Bedingungen erzeugten Funken als photometrische Einheit vor, wodurch es möglich wird, die Intensität der verschiedensten constanten Lichtquellen auf ein gemeinschaftliches Maaß zurückzuführen.

Fünfter Abſchnitt.

Der elektriſche Geruch.

---

95 Wenn man ſich in der Nähe einer kräftigen Elektriſirmaſchine befindet, ſo beobachtet man, namentlich wenn die Elektricität aus Spitzen ausſtrömt, oder wenn man eine Reihe von Funken aus dem Conductor überſchlagen läßt, einen ganz eigenthümlichen Geruch, den wir der Kürze halber den elektriſchen Geruch oder Ozongeruch nennen wollen. Dieſer elektriſche Geruch iſt höchſt wahrſcheinlich auch derjenige, den man bei Blitzſchlägen beobachtet, und welcher von Leuten, die denſelben nicht gehörig zu charakteriſiren wiſſen, als Schwefelgeruch bezeichnet wird. Schönbein beobachtete in der Nähe der Stelle, wo ein Blitz eingeſchlagen hatte, noch einige Zeit nachher einen entſchiedenen Ozongeruch.

Bis in die neuere Zeit war man über das Weſen dieſes Geruches vollkommen im Dunkeln. Einige Phyſiker nahmen an, daß dieſer elektriſche Geruch in einer eigenthümlichen Affection der Geruchsorgane durch die Elektricität beruhe, eine Erklärung, die neben dem, daß ſie irrig iſt, auch den großen Nachtheil hatte, daß ſie eine weitere Unterſuchung und Discuſſion abgeſchnitten hat.

Andere ſtellten die Hypotheſe auf, der elektriſche Geruch rühre von feinen metalliſchen Theilchen her, welche durch die ausſtrömende Elektricität mitgeriſſen würden. Aber auch dieſe Anſicht iſt ganz unzuläſſig, weil ſich mit der Natur der Ausſtrömungsſpitze die Natur des Geruches nicht im mindeſten ändert.

Schönbein hat das große Verdienſt, dieſe Frage gleichſam wieder in das Fahrwaſſer naturwiſſenſchaftlicher Thätigkeit gebracht zu haben. Er hat nachgewieſen, daß der elektriſche Geruch einem eigenthümlichen durch die elektriſche Ausſtrömung erzeugten Gaſe zukomme, welches er Ozon nennt. Mit dem größten Eifer hat er Jahrelang die Eigenſchaften dieſes Ozons erforſcht, und wenn es bis jetzt auch noch nicht gelungen iſt, das Ozon iſolirt darzuſtellen, ſo ſind doch bereits viele wichtige chemiſche

und physikalische Beziehungen desselben unzweifelhaft nachgewiesen, und die fernere Untersuchung dieses Gegenstandes verspricht die wichtigsten Entdeckungen auf dem Felde der Chemie.

Die erste Abhandlung Schönbein's über diesen Gegenstand findet sich in den Denkschriften der Münchener Akademie.

Diese Abhandlung ist auch in Poggendorff's Annalen, und zwar im L. Bande pag. 616 abgedruckt.

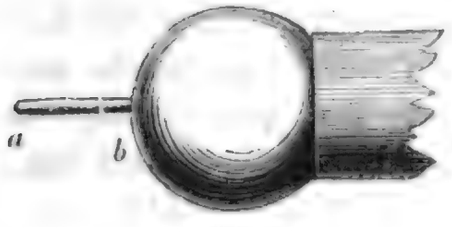
Ueber die Erzeugung des Ozons auf chemischem Wege veröffentlichte Schönbein im Jahre 1844 eine kleine Schrift unter eben diesem Titel, welche in der Schweighäuser'schen Buchhandlung in Basel erschienen ist.

Die wichtigsten Abhandlungen über unsern Gegenstand, welche hierauf folgten, befinden sich in Poggendorff's Annalen; man findet sie im Namenregister zusammengestellt, welches dem LXXV. Bande dieser Annalen angehängt ist.

In diesen Schriften läßt sich der historische Gang der Schönbein'schen Entdeckungen verfolgen; der größeren Uebersichtlichkeit wegen will ich aber diesen historischen Gang verlassen, ich will nicht über den Inhalt der einzelnen Abhandlungen referiren, sondern ich will die wesentlichsten Versuche, welche die Natur und die wichtigsten Beziehungen des Ozons kennen lehren, in der Weise beschreiben, wie Professor Schönbein im Frühjahre 1849 mir dieselben zu zeigen die Güte hatte, und seine Ansichten über die Natur des Ozons, die früheren Phasen übergehend, in der Weise vortragen, wie sie sich jetzt in Folge vieljähriger Untersuchungen gestaltet haben.

Versieht man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem vorne abgerundeten Drahte *ab*, Fig. 82, von ungefähr 1 Linie Durchmesser, so wird man, während die Maschine gedreht wird, in der Nähe des Drahtendes *a* den eigenthümlichen elektrischen Geruch bemerken. —

Fig 82.



Daß dieser Geruch nicht bloß einer subjectiven Affection der Geruchsorgane zuzuschreiben ist, sondern daß er von einem eigenthümlichen Gase herrührt, ergiebt sich daraus, daß dieses riechende Princip eine Reihe von chemischen und physikalischen Wirkungen hervorbringt, welche mit den chemischen Reactionen und physikalischen Beziehungen anderer Gase die größte Aehnlichkeit haben. Ja es ist Schönbein gelungen, dieses riechende Princip, das Ozon, auf rein chemischem Wege darzustellen und alle Reactionen

mit demselben hervorzubringen, wie man sie an Ausströmungsspitzen beobachtet.

Hält man der Ausströmungsspitze ein Stückchen Papier in der Entfernung von ½ bis 1 Zoll entgegen, welches mit Jodkaliumkleister bestrichen ist, so wird dieser Kleister alsbald gebläut.

Um den Jodkaliumkleister zu bereiten, werden 2 Theelöffel voll Stärke, welcher man ein Körnchen Jodkalium zusetzt, mit dem 10fachen Volumen Wasser zu Kleister gekocht.

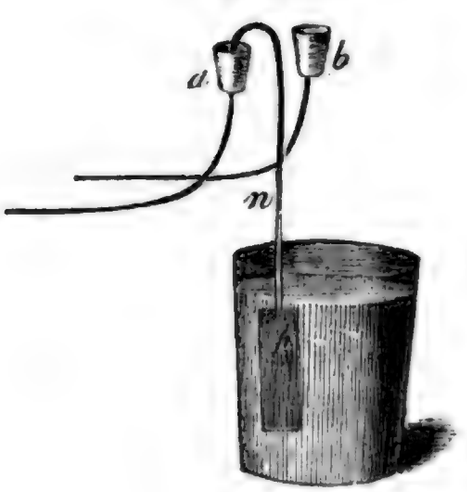
Das Ozon wirkt also auf den Jodkaliumkleister gerade so wie das Chlor, es zersetzt das Jodkalium und das freiwerdende Jod färbt die Stärke blau.

Die Erscheinung, nämlich das Bläuen des Jodkaliumkleisters, findet ganz in derselben Weise statt, mag nun aus der Spitze positive oder negative Elektricität ausströmen; ebenso ist es vollkommen gleichgültig, aus welcher Substanz die Spitze gefertigt ist, wenn nur eine Ausströmung der Elektricität aus derselben stattfindet, wodurch die Ansicht einiger früheren Physiker widerlegt wird, als ob der elektrische Geruch von Metalltheilchen herrühre, welche von der ausströmenden Elektricität mit fortgeführt worden.

Hält man eine Platin- oder Goldplatte der Ausströmungsspitze entgegen, während die Maschine gedreht wird, so wird dieser Platte eine negativgalvanische Polarisation mitgetheilt, die man auf folgende Weise darthun kann.

Die beiden Quecksilbernäpfchen *a* und *b*, Fig. 83, seyen mit den Drahtenden eines Multiplicators in Verbindung. In das Quecksilbernäpfchen *a* ist ein Kupferdraht eingetaucht, an dessen anderem Ende eine Platinplatte *p* befestigt ist (die Platinplatte ist zunächst mit Gold an einen Platindraht und dieser bei *n* an einen Kupferdraht gelöthet). Diese Platinplatte hängt in ein Glasgefäß herab, welches etwas gesäuertes Wasser enthält.

Fig. 83



Nachdem man nun eine ganz ähnlich vorgerichtete Platinplatte eine Zeit lang der aus der Spitze strömenden Elektricität ausgesetzt hat, wird sie ebenfalls in das Wasser des Glasgefäßes eingetaucht; sobald nun der Kupferdraht der zweiten Platinplatte in das Quecksilbernäpfchen *b* eingesenkt wird, entsteht ein bedeutender Ausschlag der Galvanometernadel, und zwar nach einer Rich-

tung, welche anzeigt, daß die dem Ozon ausgesetzt gewesene Platinplatte sich negativ gegen die andere verhält, d. h. der Ausschlag erfolgt nach derselben Seite, als ob in *a* ein Zinkdraht, in *b* ein Kupferdraht eingesenkt gewesen wäre und man diese Drähte dann in die Flüssigkeit des Glasgefäßes eingetaucht hätte. Dieser Strom ist jedoch nur ein vorübergehender.

Was die Polarisationserscheinungen überhaupt betrifft, so werden wir dieselben später noch besonders betrachten, hier mußte dieselbe nur als eine der Wirkungen mit aufgeführt werden, welche das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen begleiten.

Alle diese Reactionen verschwinden, wenn Schwefelwasserstoffgas, Ammoniakgas, ölbildendes Gas u. s. w. in der Luft des Zimmers verbreitet ist.

Wenn man die Ausströmungsspitze durch eine Weingeistlampe bis zum Glühen erhitzt und gleich nach dem Entfernen der Lampe die Maschine in Thätigkeit setzt, so sind nun alle die bisher beschriebenen Erscheinungen, welche das Ausströmen der Elektricität begleiten, verschwunden, d. h. der elektrische Geruch wird nicht mehr wahrgenommen; Jodkaliumkleister, welchen man der Ausströmungsspitze entgegenhält, wird nicht geblaut, Platin oder Goldplatten werden nicht galvanisch polarisirt. Alle diese Erscheinungen treten aber allmälig wieder auf, wenn die Spitze mehr und mehr erkaltet.

Um den Versuch in Beziehung auf den Geruch rein zu haben, muß man ihn mit Drahtstücken von edlen Metallen anstellen, weil die leichten oxydirbaren Metalle beim Erhitzen selbst einen eigenthümlichen Geruch verbreiten; da jedoch ganz dünne Drähte zu diesem Versuch nicht geeignet sind, dickere aber nicht immer erhalten werden können, so kann man einen dünneren Platindraht anwenden, an dessen Ende ein Kügelchen von ungefähr 1 Linie Durchmesser angeschmolzen ist.

Elektrischer Geruch bei der elektrischen Zersetzung des Wassers. 96

Der elektrische Geruch tritt nicht allein bei der Ausströmung der Elektricität aus Spitzen auf, auch bei der elektrolytischen Zersetzung des Wassers begegnen wir demselben wieder und finden ihn von denselben Reactionen und Wirkungen begleitet, die wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben.

Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich, daß der elektrische Geruch an dem positiven Pol, also an demjenigen auftritt, an welchem Sauerstoffgas entbunden wird, denn wenn man die aus der Zersetzung des Wassers resultirenden Gase gesondert auffängt, so bemerkt man den fraglichen Geruch nur in demjenigen Gefäß, welches den Sauerstoff enthält, keine Spur aber in demjenigen, welches den Wasserstoff einschließt.

Auch die gemengt aufgefangenen Gase besitzen den elektrischen Geruch.

Hängt man in das mit dem elektrischen Geruch behaftete, durch die Elektrolyse erhaltenen Sauerstoffgas oder Knallgas ein mit Jodkaliumkleister bestrichenes Papier, so wird dasselbe gebläuet. Eine in dieses Gas einige Zeit lang eingetauchte Platinplatte zeigt dieselbe elektronegative Polarisation, als ob man sie dem elektrischen Büschel ausgesetzt hätte

Chemisch reines Sauerstoffgas bringt keinen dieser Effecte hervor, es hat nicht den Geruch, bläut nicht den Jodkaliumkleister und ist nicht im Stande eine Platinplatte negativ zu galvanisiren.

Das durch elektrolytische Zersetzung erhaltene Gas bringt also in allen diesen Fällen dieselbe Wirkung hervor wie die Luft, welche von einer stark elektrisirten Spitze abströmt.

97 **Erzeugung des Ozons auf chemischem Wege.** Der sogenannte elektrische Geruch läßt sich auch ohne alle Elektricität auf rein chemischem Wege darstellen. Ein Stück Phosphor mit Löschpapier trocken abgerieben, so daß es eine reine Oberfläche hat, verbreitet einen eigenthümlichen, knoblauchartigen Geruch. Bringt man ein solches Stück Phosphor in eine mit Luft gefüllte Flasche, so wird sich in der Kälte der Phosphordampf bald in der ganzen Flasche verbreiten. Hängt man nur kurze Zeit eine Platinplatte in die Flasche hinein, so wird dieselbe bald *positiv* polarisirt.

Die Polarisation der Platinplatte ist wohl dem Phosphordampf zuzuschreiben, welcher sich in der Flasche verbreitet, der Geruch aber höchst wahrscheinlich der phosphorigen Säure, welche sich durch die theilweise Oxydation des Phosphordampfes bildet.

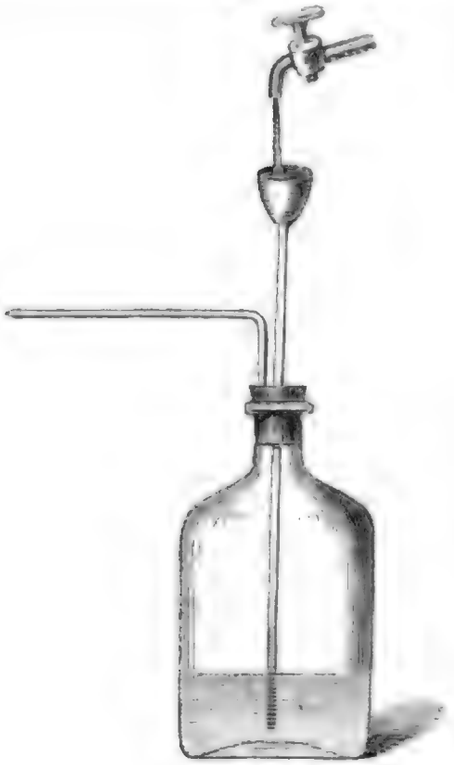
Ist nun etwas Feuchtigkeit in der Flasche (am besten so viel Wasser, daß das Phosphorstück halb aus demselben hervorragt), so wird der Phosphorgeruch schwächer und schwächer, er verschwindet endlich ganz und an seine Stelle tritt alsdann ein entschiedener *Ozongeruch*. Bei etwas höherer Temperatur tritt der Ozongeruch sehr bald auf.

Dieser *Ozongeruch* ist von dem auf elektrischem Wege erzeugten durchaus nicht zu unterscheiden und er ist von allen den Reactionen und Wirkungen begleitet, welche das Agens des elektrischen Geruches charakterisiren. — Hängt man ein Papier mit Jodkaliumkleister in die Flasche hinein, so wird es sogleich gebläut, eine in die ozonhaltige Luft getauchte Platinplatte wird *elektronegativ* polarisirt.

Mit dem auf chemischem Wege dargestellten Ozon kann man die Reactionen fast ganz in derselben Form hervorbringen, wie mit einer Elektricität ausströmenden Spitze. Zu diesem Zweck wird eine mehrere Liter haltende

mit ozonhaltiger Luft gefüllte Flasche (Fig. 84) durch einen Kork verschlossen, welche doppelt durchbohrt ist. Durch die eine Oeffnung geht eine Röhre beinahe bis auf den Boden der Flasche, welche oben in einen Trichter endigt, durch die andere Oeffnung geht eine Röhre, welche nicht weiter in die Flasche herabgeht, die aber bald über den Kork horizontal eingebogen ist und in eine Spitze mit ziemlich kleiner Oeffnug endigt. Läßt man nun in den Trichter in passendem Maaße Wasser einströmen, so wird die ozonhaltige Luft durch die Spitze der andern Röhre ausgetrieben. Diese Spitze verhält sich jetzt vollkommen gerade so wie eine Metallspitze, aus welcher ein elektrischer Büschel ausströmt. — Wenn man die Glasspitze der Nase nähert, so beobachtet man den elektrischen Geruch, hält man ihr ein Papier mit Jodkaliumkleister gegenüber, so wird es geblaut, hält man eine Platinplatte vor die feine Oeffnung, so wird dieselbe elektronegativ polarisirt.

Fig. 84.



Wir haben oben gesehen, daß alle Wirkungen des Ozons verschwinden, wenn die Büschel gebende Spitze stark erhitzt ist; ebenso verschwinden alle Reactionen des Ozons, sobald man den horizontalen Theil des Ausströmungsrohres durch eine Weingeistlampe stark erhitzt hat. Die Luft, die durch die heiße Röhre strömend zur feinen Oeffnung hervortritt, hat keinen Geruch mehr, sie bläut den Jodkaliumkleister nicht und ist nicht im Stande eine Platinplatte elektrisch zu polarisiren. — Alle diese Wirkungen treten aber nach Erkaltung der Röhre wieder auf.

Chemische Natur des Ozons. Schönbein, der Entdecker des 98
Ozons, hat mit unermüdlichem Fleiße Jahre lang das Verhalten dieses merkwürdigen Körpers beobachtet und untersucht, und gefunden, daß er in jeder Beziehung mit den Hyperoxyden die größte Aehnlichkeit hat; er ist dadurch endlich zu der Ansicht gelangt, daß das Ozon nichts anderes sey als ein gasförmiges Wasserstoffsuperoxyd.

Das Ozon bildet sich demnach durch eine fernere Oxydation des Wasserdampfes der Luft. Es erklärt sich dadurch, warum Wasser oder viel-

mehr Wasserdampf zur Ozonbildung durchaus nothwendig ist. In vollkommen trockner Luft kann man mittelst Phosphor kein Ozon darstellen.

Die Elektricität disponirt den Wasserdampf der Atmosphäre, sich weiter zu oxydiren und Ozon zu bilden; eben so bewirkt der Phosphor die Verbindung des Wasserdampfes mit Sauerstoff, ohne daß man bis jetzt das »Wie?« beantworten könnte.

Durch die Hitze wird das Ozon wieder in seine Bestandtheile, Wasserdampf und Sauerstoff, zerlegt, wie uns die auf Seite 215 angeführten Versuche lehren.

Es wird zwar von de la Rive und Berzelius, welche das Ozon als einen modificirten Sauerstoff betrachten, behauptet, in trocknem Sauerstoffgas könne durch elektrische Ausströmung Ozon erzeugt werden, doch ist dies allen Analogieen Schönbein's entgegen. Als schlagendsten Beweis für den Wassergehalt des Ozons führt Schönbein folgenden Versuch an: wenn man ozonhaltige Luft möglichst vollständig trocknet, alsdann dieselbe erhitzt, so giebt sie nach dem Erkalten, über hygroskopische Körper streichend, Wasser an dieselben ab. — Durch die Hitze ist nämlich das Ozon wieder zerlegt, also der Wasserdampf gleichsam wieder frei geworden, den es enthielt.

Das Ozon ist eines der kräftigsten Oxydationsmittel, welche man kennt. Leitet man längere Zeit ozonhaltige Luft über fein zertheiltes metallisches Silber, so wird dasselbe in Silbersuperoxyd verwandelt. Die Phosphordämpfe werden unter dem Einfluß des Ozons rasch oxydirt und in Phosphorsäure und phosphorichte Säure verwandelt.

Die Thatsache, daß sich beim Durchschlagen elektrischer Funken durch wasserhaltige atmosphärische Luft Salpetersäure bildet, ist bereits im Jahre 1785 von Cavendish ermittelt worden. Schönbein hat nun aber nachgewiesen, daß sich unter diesen Umständen auch stets Ozon bildet.

Da mit Hülfe der Funkenelektricität Ozon in feuchtem Sauerstoffgas erzeugt werden kann, so ist klar, daß die Bildung des Ozons von derjenigen der Salpetersäure unabhängig ist. Dahingegen hat es Schönbein im höchsten Grade wahrscheinlich gemacht, daß die Bildung der Salpetersäure nicht eine directe Wirkung der Elektricität ist, sondern eine secundäre, hervorgebracht durch die oxydirende Wirkung des Ozons auf den Stickstoff der Atmosphäre.

Die Salpetersäurebildung durch Elektricität läßt sich am einfachsten dadurch nachweisen, daß man der aus einem Drahte ausströmenden Elektricität eine Zeit lang ein mit einer Lösung von kohlensaurem Kali befeuchtetes Papier aussetzt; das kohlensaure Kali wird unter diesen Umständen zum Theil in salpetersaures Kali verwandelt.

Auch das vermittelst Phosphor dargestellte Ozon bewirkt eine Salpetersäurebildung. — Die phosphatige Säure, ein Gemisch von Phosphorsäure und phosphoriger Säure, welche sich in einem Ballon bildet, der ein Stückchen Phosphor, etwas Wasser und atmosphärische Luft enthält, wird vom Wasser absorbirt. Färbt man nun dieses Wasser mit etwas Indigosolution, so wird diese alsbald gebleicht, eine Wirkung, welche weder Phosphorsäure noch phosphorichte Säure für sich allein hervorbringen. Dieses Bleichen ist der Effect einer geringen Quantität Salpetersäure, welche, unter dem Einfluß des Ozons gebildet, sich gleichfalls in Wasser löst.

Daß man hier wirklich mit Salpetersäure zu thun hat, ergiebt sich daraus, daß wenn man das Wasser mit Kalkmilch schüttelt, sich phosphorsaurer und phosphorichtsaurer Kalk bildet, welche unlöslich sind, während etwas salpetersaurer Kalk in der Lösung zurückbleibt.

Davy hat die Beobachtung gemacht, daß am positiven Pole einer Säule Spuren von Salpetersäure auftreten, wenn durch luft- oder stickstoffhaltiges Wasser ein Voltaischer Strom geht; auch hier ist die Bildung der Salpetersäure eine secundäre Wirkung der Elektricität. Zunächst wird durch den Einfluß des Stromes Ozon gebildet, und dieses oxydirt dann den Stickstoff.

Das Leuchten des Phosphors durch die Einwirkung von Ozon bewirkt. Bei niedrigen Temperaturen findet bekanntlich in ozonfreier Luft keine langsame Verbrennung des Phosphors, also kein Leuchten desselben im Dunkeln statt, welches aber sogleich auftritt, sobald Ozon mit dem Phosphor in Berührung kommt. In einer Flasche, in welcher sich ozonisirte Luft befindet, leuchtet der Phosphor auch bei ganz niedriger Temperatur. 99

Sehr schön hat dies Schönbein dadurch nachgewiesen, daß er bei niedriger Temperatur Phosphorstangen elektrischen Lichtbüscheln aussetzte, welche nach dem Obigen die Bildung von Ozon vermitteln. Die Art, wie er den Versuch anstellte, war folgende (P. A. LXVIII. 38.).

Es wurde ein Zoll langes Stück Phosphor von reiner Oberfläche auf ein mit der Erde in leitender Verbindung stehendes Brettchen gelegt und das freie Ende eines mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbundenen Drahtes bis auf einige Linien dem Phosphor genähert. Bei einer Temperatur von -2^{0} leuchtete der Phosphor an und für sich im Dunkeln nicht; setzte man aber die Maschine in Bewegung, so daß ein elektrischer Büschel von Draht gegen das Phosphorstück spielte, so leckte augenblicklich eine leichte Flamme über die ganze Länge des Phosphors hinweg, die in der Regel gleich einem Kometenschweife noch weit über die Phosphorstange hinausreicht. Wird die Maschine nicht mehr gedreht,

so verschwindet auch das Leuchten des Phosphors nach einigen Secunden wieder.

Eine sehr artige Lichterscheinung erhielt Schönbein durch folgende Anordnung. Ein Kupferdraht wurde spiralförmig um ein Zoll langes Stück reinen Phosphors herumgewunden, so daß das eine Ende des Drahtes noch um eine Linie als Spitze über den Phosphor hinausreicht, ungefähr so, wie es Fig. 85 darstellt. Das andere Ende des Drahtes wurde mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden. Bei einer Temperatur unter 0° leuchtete das Phosphorstück selbst in der größten Dunkelheit nicht im mindesten. Drehte man aber die Elektrisirmaschine, so daß ein lebhafter Büschel am Ende des gewundenen Drahtes erschien, so sah man aus der Mitte des Büschels einen leuchtenden Kegel hervorgehen, der je nach den Umständen eine Länge von einigen Zollen bis zu einigen Fußen erreichte. Der größte Kegel, den Schönbein erhielt, war $2\frac{1}{2}$ Fuß lang. Mit kräftigen Maschinen muß man solche Kegel von noch viel bedeutenderer Länge erhalten.

Fig. 85.

Es darf wohl ohne Bedenken angenommen werden, daß dieser Lichtschweif nichts anderes ist als in langsamer Verbrennung begriffener Phosphordampf.

Der leuchtende Schweif verschwindet mit dem elektrischen Büschel.

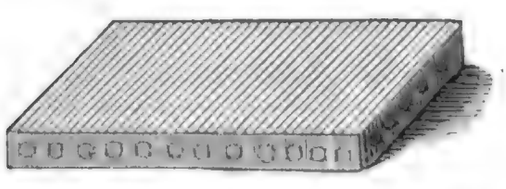
Nachtrag.

In Beziehung auf Grûel's Elektrisirmaschinen, von denen bereits auf Seite 20 die Rede war, ist aus dem 100sten Bande von Dingler's polytechnischem Journal noch Folgendes nachzutragen.

Eine geriebene Glasfläche von circa 2 Quadratfuß gab in Verbindung von nur einem Reibzeuge und einem Conductor von circa 1¾ Quadratfuß, mit 1½zölligen Endkugeln versehen, dem Blitz ähnliche, vielfach gezackte Funken von 8zölliger Schlagweite; die Ausdehnung der Lichtbüschel ging begreiflich noch über diese Entfernung hinaus. — Hiermit in Verhältniß stand die rasche Ladung großer Leidner Flaschen, ebenso die Wirkung kleinerer Elektrisirmaschinen von äußerst ansprechender Form.

Die Verfertigung von Elektrophoren betreffend, welche auf Seite 2 angeführt wurde, mögte Folgendes die zweckmäßigste und billigste Construction derselben seyn.

Fig. 86.



Auf ein quadratisches Brett von 1 bis 1½ Fuß Seitenlänge, welches mit Stanniol oder unächtem Silberpapier überzogen ist, spannt man eine oder zwei Lagen ordinären wollenen Tuches und darüber eine einfache oder auch doppelte Lage von Guttapercha-Papier; Tuch und Guttapercha-Papier werden an den Seitenwänden des etwa Zoll hohen Brettes mit kurzen dickköpfigen Nägeln aufgenagelt. Ein solches Elektrophor, welches sehr wirksam ist, hat ungefähr das in Fig. 86 dargestellte Ansehen.

Schönbein's elektrisches Papier wird auf folgende Weise dargestellt. Schießbaumwolle wird in Aether aufgelöst und die klare

Auflösung über eine beliebige Glasfläche ausgebreitet. Nach gänzlicher Verflüchtigung des Lösungsmittels bleibt eine durchsichtige Haut zurück, welche eben das elektrische Papier ist, und welcher man neuerlich den Namen Collodion beigelegt hat. Grüel hat das Collodion zur Darstellung kleiner Luftballons angewandt.

Galvanismus.

Digitized by Google

Erſter Abſchnitt.

Streit der chemiſchen Theorie und der Contacttheorie.

Einleitung. Den Bericht über die Fortſchritte und neueren Ent- 100
deckungen im Gebiete des Galvanismus müſſen wir mit der Beſprechung des vielfach unerquicklichen Streites zwiſchen der ſogenannten Contacttheorie und der chemiſchen Theorie der galvaniſchen Kette beginnen, ein Streit, der mit einer gewiſſen Leidenſchaftlichkeit geführt wurde. Gerade dieſe Heftigkeit des Streites beweiſt aber ſchon, daß die Sicherheit der Beweisführung, mit der man dem Gegner zu widerlegen ſuchte, auf ſchwachen Füßen ſtehe. Ueberall zeigt uns die Geſchichte der Wiſſenſchaft, daß die Heftigkeit der Controverſe verſchwindet, ſobald hinlänglich überzeugende Gründe für eine Anſicht beigebracht werden, wo aber die zwingende Ueberzeugungskraft der Gründe fehlt, da läßt ſich eben der Menſch im Streben, ſeiner Anſicht Geltung zu verſchaffen, gar leicht zur Leidenſchaftlichkeit hinreißen; die Urtheile nehmen dann eine apodictiſche Geſtalt an, um durch die Schroffheit der Form den Widerſpruch zurückzudrängen.

Iſt eine naturwiſſenſchaftliche Theorie genügend begründet, ſo hört die Leidenſchaftlichkeit der Controverſe auf. Wenn jetzt jemand mit der Behauptung auftreten wollte, die Sonne drehe ſich doch um die ſtillſtehende Erde, ich glaube ſchwerlich, daß ſich die Aſtronomen ſehr ereifern, daß ſie ſich viele Mühe geben würden dem Gegner zu widerlegen, und als Drieberg kürzlich die phyſikaliſche Lehre vom Luftdruck angriff, haben ſeine Behauptungen keinerlei Aufregung unter den Phyſikern hervorgebracht.— Der Widerſpruch reizt nur da, wo die Theorien noch nicht über denſelben erhaben ſind, und das iſt zum Theil der Fall in Beziehung auf die Quelle der Elektricität der galvaniſchen Kette.

Ich bin der feſten Ueberzeugung, daß die in Rede ſtehende Streitfrage noch nicht nach allen Seiten hin ſpruchreif iſt, und daß wir eine vollſtän-

dige Löſung derſelben, eine genügende, allſeitig und gleichförmig abgerundete Erklärung der Elektricitätsentwicklung überhaupt, erſt dann erwarten können, wenn wir über das Weſen der Elektricität ſelber erſt beſſer aufgeklärt ſind. Das Weſen der Elektricität zu enträthſeln mögte aber jetzt noch eine vergebliche Mühe ſeyn., es wird erſt möglich werden, wenn neu entdeckte Thatſachen die Materialien liefern, aus denen leicht und ungezwungen eine Theorie herauswächſt, die auf einmal Licht über die Punkte der Elektricitätslehre verbreiten wird, die man jetzt vergeblich durch breitere und unklare Betrachtungen zu erhellen ſucht. — Zu Euler's Zeit war die Vibrationstheorie ſchon ungleich weiter vorgerückt, als unſere Elektricitätslehre, es lag ungleich mehr Material zum Aufbau derſelben bereit, und dennoch gelang es dem großen Naturforſcher nicht ihr allgemeine Anerkennung zu verſchaffen; er konnte ſie nur durch Analogieen mit dem Schall plauſibel machen. Erſt durch die Entdeckung neuer Thatſachen, erſt durch die Entdeckung der Polariſation war es möglich, das wahre Weſen der Lichtwellen zu ermitteln und der Theorie eine Vollendung zu geben, vor welcher der Widerſpruch verſtummen mußte.

Aus mangelhaftem Material wird man niemals einen feſten vollendeten Bau aufführen können. Demzufolge dürfen wir jetzt nur eine relative, keine definitive Entſcheidung der Streitfrage über die Quelle der Elektricität der galvaniſchen Kette erwarten. —

Zu Ende der dreißiger und zu Anfang der vierziger Jahre wurde der Streit mit beſonderer Heftigkeit geführt, er hat aber allmälig nachgelaſſen, ſo daß er jetzt faſt ganz verſtummt iſt, ohne daß ſich jedoch die Meinungen der Phyſiker und Chemiker vollſtändig vereinigt hätten.

Es iſt in der That ſehr ſchwierig, dieſem Streit überall zu folgen und mit kurzen präciſen Worten die gegneriſchen Anſichten hinzuſtellen, weil ſich eben dieſe Anſichten ſelten präcis ausgeſprochen finden und uns häufig nur Nebelbilder ſtatt klar ausgeſprochene und conſequent durchgeführte Anſichten geboten werden. Die im Verhältniß zu ihrem ſachlichen Inhalt größtentheils ſehr bedeutende Ausdehnung der meiſten Abhandlungen, in welchen dieſe Controverſe behandelt wird, iſt in der That kein günſtiges Zeichen für die Klarheit der Vorſtellungen ihrer Autoren.

Unter allen denen, welche an dem Streite ſich betheiligt haben, kann man wohl kaum zwei nennen, die in ihren Anſichten ganz übereinſtimmen. Die meiſten machen ihre Theorien ſo ziemlich auf einer tabula rasa, ohne ſich um das vorhandene Material zu kümmern, und ohne danach zu fragen, ob denn die neu aufgeſtellte Theorie nicht eine bedeutungsloſe Modification ſchon vorhandener Anſichten ſey, ob die neue Hypotheſe wirklich mehr leiſte als die ſchon früher aufgeſtellte. — Daher kommt es denn auch, daß man derſelben Grundidee in den mannichfaltigſten Formen wieder be-

gegnet, wie dies z. B. mit der polaren Stellung der Waſſertheilchen zwiſchen den beiden Polen der Kette der Fall iſt.

Ein Umſtand, welcher bei dieſem Streite beſonders auffallen muß, und der nicht wenig zur Verlängerung deſſelben und zur Verwirrung beigetragen hat, iſt der, daß ſo häufig die gegneriſche Meinung ganz unrichtig aufgefaßt wurde, daß man ſie gleichſam zur Carricatur machte. Auf dieſe Weiſe wurden dem Gegner Behauptungen untergelegt, die er nie gemacht hat; es wurden aus ſeiner Theorie Conſequenzen gezogen, gegen die er proteſtiren muß.

Es erinnert dies an die Polemik Göthe's gegen die Newton'ſche Farbenlehre. — Nach der Newton'ſchen Theorie erwartete Göthe eine weiße Wand durch ein Prisma in lauter farbige Streifen getheilt zu ſehen, als er aber die Wand durch das Prisma weiß und nur mit farbigen Rändern begränzt ſah, nahm er aus dieſer Thatſache ein Argument gegen die Newton'ſche Farbenlehre. Die Phyſiker ſind aber darüber einig, daß Göthe dadurch nur den Beweis geliefert hat, die Newton'ſche Theorie nicht verſtanden zu haben.

Nicht viel anders iſt es, wenn man die Umkehrung des Stroms eines Zinkkupferelements in Schwefelleberlöſung als Beweis gegen die Contacttheorie geltend machen will; — oder wenn auf der andern Seite behauptet wird, daß Schönbein's Modification der chemiſchen Theorie die Zunahme der Spannung in der offenen Säule nicht erklären könne. Freilich ſind noch viele Erſcheinungen, z. B. die Paſſivitätserſcheinungen, ſehr räthſelhaft, aber keine der beiden ſtreitenden Theorien vermag dieſelben beſſer zu erklären als die andere. Der Umſtand, daß noch Vieles räthſelhaft iſt, kann keinen Grund abgeben, eine Theorie zu verlaſſen, wenn nicht eine andere die Räthſel beſſer löſt. Die Erklärungsweiſe, welche die chemiſche Theorie von Polariſation und Paſſivität giebt, ſteht auf ganz gleicher Stufe mit den entſprechenden Erklärungen der Contacttheorie; beide ſind gleich mangelhaft, ſie laufen aber ſo vollkommen parallel, daß man nur die Terminologie zu ändern braucht, um die Erklärung der einen Theorie in die Sprachweiſe der andern zu überſetzen. In der That iſt es ziemlich gleichbedeutend für das Verſtändniß der Paſſivität des Eiſens, ob man ſagt, ſeine Verwandtſchaft zum Sauerſtoff iſt verringert, oder ob man ſagt, es iſt mehr elektronegativ geworden.

Kurze Charakteriſtik der ſtreitenden Theorien. Gehen wir 101
nach dieſer allgemeinen Betrachtung über zu einer kurzen Charakteriſtik der verſchiedenen galvaniſchen Theorien.

Nach der urſprünglichen Volta'ſchen Contacttheorie iſt die

Quelle der Elektricität der Säule lediglich in der Wechſelwirkung der in Berührung ſtehenden Metalle zu ſuchen; die Flüſſigkeit der Säule wird nur als Leiter betrachtet.

In dieſer urſprünglichen einſeitigen Form genügt dieſe Theorie unſerer jetzigen Kenntniß der Thatſachen nicht mehr; in dem Maaße, als die Bedeutung der chemiſchen Beziehungen des Stromes mehr bekannt wurden, war man genöthigt, die Theorie zu modificiren, und in der That iſt es gelungen, dieſelbe in eine Form zu bringen, in welcher ſie alle Erſcheinungen der offenen und der geſchloſſenen Säule umfaßt und erklärt.

Dieſe modificirte Form der Contacttheorie iſt es, welche ich in meinem Lehrbuch der Phyſik vorgetragen habe.

Dieſer Contacttheorie entgegen ſteht die chemiſche Theorie der Kette, welche in ihrer ſchroffen Form von de la Rive, Becquerel, Faraday und den meiſten engliſchen Phyſikern vertreten wird. Dieſer Theorie zufolge iſt die Elektricitätsentwickelung in der Kette erſt die Folge einer vorhergegangenen chemiſchen Wirkung, welche die Flüſſigkeit der Kette auf das eine Metall ausübt. Auch die elektriſche Spannung an den Polen der nicht geſchloſſenen Kette iſt nach dieſer Anſicht die Folge einer vorhergegangenen chemiſchen Einwirkung.

Dieſe Meinung, daß die Elektricitätsentwickelung nur die Folge vorhergegangener chemiſcher Wirkung ſey, daß ohne chemiſche Zerſetzung des Elektrolyten gar keine Elektricität in der Kette auftreten könne, iſt es vorzugsweiſe, gegen welche die Angriffe der Contactiſten gerichtet waren, und in der That widerſpricht dieſelbe einer großen Anzahl von Thatſachen. Die chemiſche Theorie in dieſer Form ignorirt den Volta'ſchen Fundamentalverſuch vollkommen, ſie giebt keine Auskunft darüber, wie die Spannung der Elektricität an den Polen der offenen Kette mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt. Was aber am entſchiedenſten die Unhaltbarkeit dieſer Anſicht darthut, iſt der Umſtand, daß man in der That eine Menge galvaniſcher Ketten conſtruiren kann, bei denen vor der Schließung auch nicht eine Spur chemiſcher Zerſetzung ſtattfindet, und die nichts deſto weniger einen Strom liefern, wenn ſie geſchloſſen werden.

Schönbein hat in einem Aufſatz »über die Urſache der hydroelektriſchen Ströme«, welcher ſich in ſeinen »Beiträgen zur phyſikaliſchen Chemie (Baſel 1844)« befindet, mehrere ſolcher Ketten angeführt. Eine Auflöſung von vollkommen neutralem ſchwefelſaurem Zinkoxyd greift z. B. das Zink nicht an, deſſen ungeachtet giebt eine Combination von Zink und Kupfer in einer Auflöſung von Zinkvitriol einen Strom.

Ein fernerer ſehr bedeutſamer Einwurf gegen diejenige Form der chemiſchen Theorie, welche die Bildung des Stromes von einem vorausge-

gangenen chemischen Angriff des einen Metalles der Kette ableitet, ist auch noch der, daß die elektromotorische Kraft einer Kette durchaus nicht der Stärke des chemischen Angriffs proportional ist. Steht in einer Daniell'schen Kette das Kupfer in einer Lösung von Kupfervitriol, so bleibt die elektromotorische Kraft des Apparates fast ganz ungeändert, mag nun das Zink in Wasser oder in verdünnter Schwefelsäure oder in einer neutralen Lösung von Zinkvitriol stehen. Dies hat außer andern Physikern auch Svanberg durch genaue Messungen nachgewiesen (P. A. LXXIII. 290). Wäre der vorhergegangene chemische Angriff die Quelle des Stromes, so müßte die elektromotorische Kraft bei Anwendung der verdünnten Säure weit größer seyn, als für Wasser und Zinkvitriol.

Es ist Thatsache, daß der Strom der Hydrokette nicht ohne Zersetzung der Flüssigkeit circuliren kann, die Zersetzung der Flüssigkeit scheint wesentlich zusammenzuhängen mit der Leitung der Elektricität durch dieselbe, und auch die Contacttheorie hat die Bedeutung, welche die chemische Zersetzung in den Zellen für die Strombildung hat, vollkommen anerkannt. Wenn man aber darüber streitet, ob die Zersetzung die Ursache des elektrischen Stromes sey oder ob der chemischen Zersetzung in der Kette erst ein elektrischer Spannungszustand vorangehe, nach dessen Quelle wir vor der Hand noch nicht fragen wollen, so ist dies in der That nicht viel anders, als wenn man sich darüber streiten wollte, ob die Bewegung eines Mühlrades von dem Fall des Wassers oder von der Schwere des Wassers abzuleiten sey. —

Die Schwere veranlaßt den Fall des Wassers und der Fall des Wassers die Umdrehung des Rades, so wie die elektrische Spannung die chemische Zersetzung veranlaßt, in Folge deren der Strom circulirt.

Selbst Faraday, der doch vorzugsweise die chemische Zersetzung als Quelle des elektrischen Stromes betrachtet wissen will, giebt zu, daß der Zersetzung ein Spannungszustand der Flüssigkeit vorangehe, denn er sagt bei der Gelegenheit, wo er seine Vertheilungstheorie, die schon oben pag. 55 besprochen wurde, auf die elektrolytische Zersetzung anwendet: »Die Theorie nimmt an, daß die Theilchen des Dielectricum (jetzt ein Electrolyt) im ersten Augenblick durch gewöhnliche Vertheilungswirkung in einen »Polarisationszustand gebracht, und bis zu einem gewissen Grade von »Spannung oder Intensität gesteigert werden, bevor die Entladung anfängt. Der Vertheilungszustand ist in der That eine nothwendige »Vorläuferin der Entladung. Benutzt man die geeigneten Umstände, »so wird es nicht schwer halten, die diesen Vertheilungszustand anzeigende »Spannung zu erhöhen und so den Zustand sichtbar zu machen. Wenn »z. B. destillirtes Wasser angewandt, und eine lange schmale Portion »zwischen die Elektroden einer kräftigen Volta'sche Batterie gebracht wird,

»so bekommt man sogleich Anzeigen von der Intensität, welche man an diesen »Elektroden — — — erhalten kann, denn man kann Funken bekommen, »Goldblätter zum Divergiren bringen und Leidner Flaschen laden u. s. w.« (Zwölfte Reihe von Experimentalunterſuchungen über Elektricität, 1345. P. A. XLVII. 47).

Faraday selbst giebt also zu, daß der Zersetzung in die eingeschaltete Zerlegungsquelle, folglich auch in den einzelnen Zellen der Kette selbst ein Polarisationszustand der Zersetzung, also auch die Bildung des Stromes vorangeht. Man kann demnach consequenterweise den Gegensatz der Faraday'schen Theorie der Säule zur Contacttheorie nicht mehr darin suchen, daß Faraday die Circulation des Stromes von der chemischen Zersetzung in der Zelle ableite. Die Contacttheorie nimmt wie Faraday an, daß bei der Hydrokette die Bildung des Stromes die Folge der chemischen Zersetzung in die Zelle ist, sie nimmt wie Faraday an, daß dieser Zersetzung ein Spannungszustand vorangehen müsse, und nur in Beziehung auf die Ursache dieses Spannungszustandes, welche nichts anderes ist als die elektromotorische Kraft, kann eine Meinungsverschiedenheit zwischen Chemisten und Contactisten herrschen.

102 **Schönbein's chemische Theorie.** Die Einwendungen wohl berücksichtigend, welche man gegen die chemische Theorie in ihrer früheren Form machen kann, hat Schönbein dieselbe bedeutend modificirt und in dieser einen Form in dem schon oben pag. 228. erwähnten Aufsatz vorgetragen.

Durch diese Schrift ist der Streit der Contactisten und Chemisten in ein neues Stadium getreten und, wie mir scheint, eine Verständigung zwischen den Physikern angebahnt. Folgendes sind die Grundzüge der Schönbein'schen Theorie, die wir seiner Schrift wörtlich entnehmen.

»Von welcher Art auch immer die Ursache oder die Kraft seyn mag, »durch welche die Elementarstoffe befähiget werden, sich unter einander zu »scheinbar gleichartigen Körpern zu vereinigen und in dem neuen Verbin»dungszustand zu verharren, so viel ist gewiß, daß irgend eine Verände»rung in diesem Zustande eintreten muß, wenn mit einem der besagten »Körper ein drittes Element in Berührung gebracht wird, das gegen den »einen oder den andern Bestandtheil der Verbindung eine merkliche chemi»sche Anziehungskraft ausübt. Wählen wir, um unsere Ideen daran zu »erläutern, das Wasser als Beispiel. Sauerstoff und Wasserstoff sind in »der genannten Verbindung mit einer gewissen Stärke zusammengehalten, »oder es befinden sich, wenn man die gleiche Sache anders ausdrücken »will, die chemischen Anziehungskräfte der erwähnten Elementarstoffe im »Wasser in einem gewissen Zustande des Gleichgewichtes. Bringt man »nun einen oxydirbaren Körper, wie z. B. Zink mit Wasser, in Berührung,

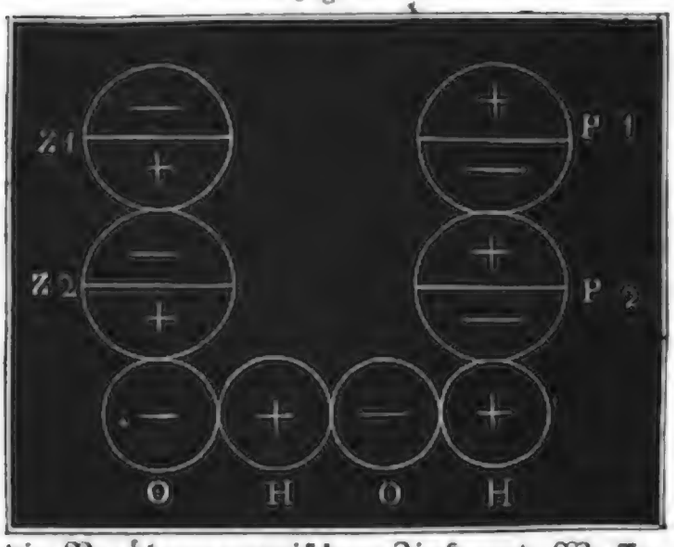
»ſo wird derſelbe eine chemiſche Anziehung von gewiſſer Stärke gegen den »Sauerſtoff des Waſſers ausüben. In Folge dieſer ſtattfindenden An»ziehung muß aber auch das chemiſche Verhältniß, das zwiſchen Sauerſtoff »und Waſſerſtoff vor der Anweſenheit des Zinkes in Waſſer beſteht, ver»ändert oder der Zuſtand des urſprünglichen chemiſchen Gleichgewichtes die»ſer Elemente auf irgend eine Weiſe modificirt oder geſtört werden. Es »wird mit andern Worten unter den vorhin angegebenen Umſtänden in »jedem Waſſertheilchen der Sauerſtoff nach zwei entgegengeſetzten Richtun»gin hingezogen, einmal nach dem mit dem Waſſermolecül in Berührung »ſtehenden Zinke, und dann nach dem in dieſem Molecül enthaltenen »Waſſerſtofftheilchen.

»Wie nun durch die geringſte mechaniſche Molecülarveränderung, die »in einem Körper ſtattfindet, das elektriſche Gleichgewicht deſſelben geſtört »wird, oder deſſen Theilchen elektriſch polariſirt werden, ſo hat auch die »beſprochene Veränderung, welche durch das Zink in der urſprünglichen »chemiſchen Thätigkeit des Sauerſtoffes zum Waſſerſtoff des Waſſers ver»urſacht wird, die elektriſche Polariſation der mit einander in Berührung »ſtehenden Materien zur Folge. Es werden die dem Waſſer zugekehrten »Zinktheilchen poſitiv, die Sauerſtoffſeiten der das Zink begränzenden »Waſſermolecüle negativ und die Waſſerſtoffſeiten der gleichen Molecüle »poſitiv polariſirt. Verſteht ſich von ſelbſt, daß die das Zink berühren»den Waſſertheilchen auf die ihnen benachbarten Waſſermolecüle einen »inducirenden Einfluß ausüben werden, dieſe letzteren wieder auf die nächſt»folgenden Theilchen, und ſo fort, bis alle unter einander zuſammenhän»genden Waſſermolecüle in dem Zuſtande elektriſcher Entzweiung oder der »Polariſation ſich befinden. Wie nun von der Stelle, wo Zink und Waſ»ſer ſich unmittelbar berühren, eine inducirende Wirkung durch die Waſſer»theilchen hindurch geht, ſo werden auch durch den Vorgang, der an dem »erwähnten Orte ſtattfindet, alle unter einander zuſammenhängenden »Zinktheilchen elektriſch polariſirt und zwar in der Weiſe, daß diejenige »Seite eines jeden ſolchen Theilchens, welche von dem Waſſer abgewendet »iſt, die negative Polarität, die dem Waſſer zugekehrte Seite aber die po»ſitive Polarität zeigt. Setzt man nun in dieſes ſo beſchaffene, das heißt, »polariſirte Waſſer einen guten Leiter, oder, was daſſelbe ſagen will, eine »leicht elektriſch polariſirbare Materie, welche gegen den Sauerſtoff des »Waſſers indifferent ſich verhält, ſo z. B. Platin, ſo werden die Seiten der »Theilchen dieſes Körpers, welche mit dem Waſſer in unmittelbarer Be»rührung ſtehen, negativ, und die ein- oder vom Waſſer abwärts gelege»nen Seiten der gleichen Theilchen poſitiv elektriſch werden, in Folge näm»lich einer inducirenden Wirkung, welche von dem polariſirten Waſſer auf »das eingetauchte Platin ausgeübt wird.

»Natürlich treten alle übrigen Molecüle des Platins gleichfalls in den »Zustand elektrischer Entzweiung, und zwar so, daß diejenige Seite jedes »Theilchens, welche vom Wasser abgewendet ist, positive Polarität, die »dem Wasser zugekehrte Seite negative Polarität hat.

»Folgende Zeichnung dürfte von dem elektrischen Zustande, in welchem »sich die Theilchen des Zinkes, Wassers und Platins befinden, eine klare »Vorstellung geben:

Fig. 87.



»Es ist eine für sich selbst »verstandene Sache, daß der »Zustand aller Theilchen der »in Rede stehenden Vorrich»tung so lange andauert, als »die Ursache, welche die Po»larisation hervorgerufen, fort»fährt wirksam zu sein, d. h. »so lange, als die chemische »Anziehung des Zinkes gegen »den Sauerstoff des Wassers »stattfindet. Hebt man aber »die Berührung zwischen Zink und Wasser auf, so gleichen sich die entge»gengesetzt elektrischen Zustände, in welchen sich der Wasser- und Sauerstoff »jedes Wassermolecüles befinden, sofort aus; was zur nothwendigen Folge »hat, daß auch in den Platintheilchen ein solcher Ausgleichungsact statt»findet.

»Setzt man dagegen z. B. das Theilchen Z^1 unserer Vorrichtung mit »dem Theilchen P^1 in Berührung, so wird unter diesen Umständen die ne»gative Seite von Z^1 mit der positiven Seite P^1 in Contact kommen, »und werden sich die entgegengesetzten Zustände besagter Theilchen gegen»seitig aufheben. Im demselben Augenblicke aber, in welchem diese Aus»gleichungsthätigkeit in den erwähnten Theilen stattfindet, muß dieselbe »auch zwischen je zwei unmittelbar benachbarten Theilchen der ganzen Kette, »also auch zwischen der positiven Seite eines das Wasser berührenden Zink»theilchens und dem mit letzterm in Contact stehenden negativen Sauer»stofftheilchen eines Wassermolecüles erfolgen. Ebenso gleicht sich der »elektro-negative Zustand eines Platintheilchens mit dem positiven Zustand »des damit in Berührung stehenden Wasserstofftheilchens eines Wasser»molecüles aus.

»Die elektrische Ausgleichung nun, welche zwischen je einem Metall»theilchen und dem einen Bestandtheil eines Wassermolecüles stattfindet, »ist ohne eine Zerlegung des letztern nicht möglich, indem eben dieser Aus-

»gleichungsact als die wahre und letzte Urſchache der elektriſchen Zerſetzung »des Waſſers betrachtet werden muß.«

— — — — — — — — — — — — —

»Wie man leicht einſieht, iſt nach dieſer Betrachtungsweiſe die wirk»liche Verbindung des Sauerſtoffs mit dem Zink unſerer Kette nur als ſe»cundäre Wirkung des Stroms oder des elektriſchen Ausgleichungsactes »anzuſehen und nicht als die Urſache oder die Quelle des Stromes ſelbſt. »Iſt nun dieſe chemiſche Verbindung zwiſchen dem Sauerſtoff- und Zink»molecül vollzogen, und befindet ſich im Waſſer eine Materie, welche das »Zinkoxyd von ſeinem Bildungsorte zu entfernen vermag, ſo wird hierdurch »ein neues Zinktheilchen in Berührung mit einem Waſſermolecül geſetzt, wird »dieſes letztere, nebſt allen zwiſchen Zink und Platin liegenden Waſſerſtoff»theilchen aufs Neue elektriſch polariſirt; es erfolgt bei der Fortdauer der »Schließung der Kette abermals eine Ausgleichung der elektriſchen Gegen»ſätze zwiſchen je zwei benachbarten Theilchen des Volta'ſchen Kreiſes und »in Folge hiervon die Zerſetzung neuer Waſſermolecüle; und ſo geht Pola»riſirung und Depolariſirung, Volta'ſche Strömung und Elektrolyſe fort, »bis die hierzu nöthigen Bedingungen aufhören erfüllt zu werden.

»Setzen wir nun den Fall, daß man Waſſer zwiſchen zwei Metalle »ſtelle, welche genau eine gleich ſtarke Anziehung gegen den Sauerſtoff dieſer »Flüſſigkeit äußerten, ſo iſt klar, daß derſelbe unter dieſen Umſtänden nach »entgegengeſetzten Richtungen hin gleich ſtark gezogen würde, und daß mit»hin die auf die Waſſertheilchen von den Metallen ausgeübten Wirkungen »ſich gegenzeitig aufheben müßten, die Beſtandtheile dieſer Waſſermolecüle »alſo auch nicht polariſirt werden, und deshalb beim Schließen einer derar»tigen Kette weder Strömungen noch elektrolytiſche Thätigkeiten ſtattfinden »könnten.

»Brächte man aber Waſſer zwiſchen zwei Metalle, von denen das eine »Affinität zum Sauerſtoff der genannten Flüſſigkeit hat, größer als die»jenige, welche der andere metalliſche Körper zum gleichen Sauerſtoffe beſitzt, »ſo würde unter ſolchen Umſtänden das zwiſchen den Beſtandtheilen jedes »Waſſermolecüles beſtehende chemiſche Gleichgewicht geſtört werden, und »zwar in einem Grade, welcher dem Unterſchiede der Oxydirbarkeit beider in »Anwendung gebrachten Metalle proportional ſeyn müßte.

»Da nun die Störung dieſes chemiſchen Gleichgewichtes zwiſchen den »Beſtandtheilen der Waſſertheilchen auch die Aufhebung des elektriſchen »Gleichgewichtes nach ſich zieht, und dieſe um ſo bedeutender ausfällt, je »größer jene iſt, ſo folgt hieraus, daß der Grad der elektriſchen Polariſirung, »der zwiſchen zwei Metalle geſtellten Waſſermolecüle auch proportional ſeyn »muß dem Unterſchiede der Oxydirbarkeit der fraglichen metalliſchen Körper; »oder, um die gleiche Sache anders auszudrücken, daß die Größe der elektri-

»ſchen Spannnng, in welche die Theile einer offenen Kette zu einander tre»ten, gemeſſen wird durch die Größe des Unterſchiedes, welcher zwiſchen den »Graden der Oxydirbarkeit der in die Conſtruction der Kette eingehenden »Metalle beſteht.

— — — — — — — — — — — — —

»Steht nun wirklich die Oxydirbarkeit eines Metalles in dem von mir »angenommenen Zuſammenhange mit ſeinem Volta'ſchen Verhalten, ſo »iſt es eine von ſelbſt verſtandene Sache, daß die Stelle, welche ein metal»liſcher Körper in der elektriſchen Spannungsreihe der Contactiſten einnimmt, »auch den Grad bezeichnet, welcher demſelben Metalle in der Skale der »Oxydirbarkeit der metalliſchen Subſtanzen zukommt. Vergleichen wir nun »die Spannungsreihe der Metalle, welche man erhält, wenn dieſelbe mit »Waſſer auf galvanoſkopiſchem Wege ermittelt wird, mit der Skale der »Oxydirbarkeit der gleichen Körper, wie ſie ſich aus den gewöhnlichen chemi»ſchen Erſcheinungen ableiten läßt, ſo kann unſerem Blicke unmöglich die »große Uebereinſtimmung entgehen, welche zwiſchen beiden Reihen beſteht.«

— — — — — — — — — — — — —

»Da wir nun eine Anzahl von Elektrolyten haben, in welchen andere »Metalloide als der Sauerſtoff die Rolle des Anions ſpielen, wie dies z. B. »die einfachen Salzbilder, der Schwefel und das Selen, in ihren Verbin»dungen mit Waſſerſtoff thun, ſo folgt aus den vorhin gemachten Bemer»kungen, daß die elektriſchen Spannungsreihen der Metalle mit verſchiede»nen Elektrolyten ermittelt, nicht völlig mit einander übereinſtimmend aus»fallen können. Dieſer Mangel an Uebereinſtimmung iſt wirklich durch »vielfache Verſuche außer allen Zweifel geſtellt worden, und nicht ganz klein »iſt die Zahl von Fällen, in welchen dieſelben zwei Metalle ein verſchieden»artiges Volta'ſches Verhalten gegen einander zeigen, wenn dieſelben in »verſchiedene elektrolytiſche Flüſſigkeiten gebracht werden; ſo alſo, daß das »gleiche Metall, welches in der einen Flüſſigkeit z. B. poſitiv gegen das »zweite Metall ſich verhält, in der anderen Flüſſigkeit ein umgekehrtes Ver»halten zeigt.

»Der Fall einer Verwechslung der Volta'ſchen Rolle, welche dieſelben »zwei Metalle in zwei verſchiedenen Flüſſigkeiten ſpielen, muß, gemäß den »obigen Auseinanderſetzungen, immer dann eintreten, wenn das chemiſche »Verhalten dieſer Metalle zu den Anionen der in Anwendung gebrachten »Elektrolyten ſich nicht gleich iſt, d. h. wenn die Verwandtſchaft eines und »deſſelben Metalles zu den beiden Anionen der Elektrolyten die Affinität »des anderen Metalles zu den gleichen Anionen nicht übertrifft, oder das »entgegengeſetzte Verhalten zeigt.

»Die Erfahrung lehrt allerdings, daß im Allgemeinen die Verwandt»ſchaftsverhältniſſe, welche zwiſchen den Metallen und dem Sauerſtoffe be=

»ſtehen, auch ähnlich ſind denjenigen, welche zwiſchen jenen Körpern und »den Salzbildern, dem Schwefel, Selen u. ſ. w. ſtattfinden, woher es eben »kommt, daß das Volta'ſche Verhalten, welches die Metalle in nicht sauer»ſtoffhaltigen elektrolytiſchen Flüſſigkeiten zeigen, ſo häufig übereinſtimmen »mit demjenigen, welches dieſelben Körper im Waſſer bemerken laſſen.

— — — — — — — — — — — — —

»Betrachten wir nun diejenigen Ketten, welche aus einem Metalle und »zwei elektrolytiſchen Flüſſigkeiten beſtehen.

»Als das intereſſanteſte Beiſpiel deſſelben iſt gewiß diejenige zu be»trachten, die man aus Waſſer, Salzſäure und Gold erhält.«

»Dieſe Kette liefert erfahrungsgemäß einen Strom, der vom Gold in »Salzſäure und von dieſer in das Waſſer geht. Dieſer Strom iſt aller»dings ſchwach, und hört wegen der ſchnell erfolgenden poſitiven Polariſa»tion des Goldes, welches in das Waſſer taucht, bald auf eine meßbare »Stärke zu haben.

»Die Entſtehung des fraglichen Stromes beruht auf der einfachen »Thatſache, daß das Gold zum Chlor der Salzſäure eine chemiſche Ver»wandtſchaft beſitzt, größer als diejenige, welche daſſelbe Metall zum Sauer»ſtoffe des Waſſers hat.

— — — — — — — — — — — — —

»Aus voranſtehender Erörterung läßt ſich leicht abnehmen, daß alle »Volta'ſchen Vorrichtungen, welche aus zwei verſchiedenen Elektrolyten »und einem Metalle zuſammengeſetzt ſind, wirkſame Ketten bilden müſſen, »falls das hierbei angewendete Metall zu dem Anion des einen elektrolyti»ſchen Körpers eine chemiſche Verwandtſchaft beſitzt, größer als die Affinität »des gleichen Metalles zu dem Anion des anderen Elektrolyten. Auch wird »aus dieſer Erörterung ferner klar, daß die Stärke des auftretenden Stro»mes proportional ſein muß dem Unterſchiede, welcher zwiſchen den beiden »eben erwähnten Affinitätsgrößen ſtattfindet.

— — — — — — — — — — — — —

»Es wird wohl kaum der ausdrücklichen Erwähnung bedürfen, daß »auch andère als metalliſche Körper an das eine oder das andere Ende einer »ſtetigen Reihe elektrolytiſcher Molecüle geſtellt werden können, um dieſe zu »polariſiren. Je nach dem chemiſchen Verhalten, das ſolche Körper zu dem »Anion oder Kathion eines Elektrolyten zeigen, werden deſſen Molecüle in »dieſem oder jenem Sinne polariſirt werden.

»Wird mit dem einen Ende einer Reihe von Waſſertheilchen z. B. »Chlor in Berührung gebracht, ſo muß unter dieſen Umſtänden eine Stö»rung des chemiſchen Gleichgewichtes dieſer Molecüle ſtattfinden, und müſ»ſen ſich deren Waſſerſtoffſeiten nach dem Chlore richten. Setzt man nun »das eine Ende eines Platinbogens mit dem Chlor, und das andere Ende

»des gleichen Bogens mit irgend einem Waſſertheilchen der erwähnten Reihe »in Berührung, ſo wird ein Strom entſtehen müſſen, der von dieſem an»deren Ende des Platinbogens durch das Waſſer zum Chlore geht, während »dieſes mit dem Waſſerſtoff des Waſſers ſich chemiſch vereinigt.

»Befindet ſich dagegen an dem Ende einer ſtetigen Reihe von Waſ»ſermolecülen eine nichtmetalliſche Subſtanz, die zum Anion dieſer Reihe »irgend eine chemiſche Anziehung ausübt, ſo wird eine Polariſation der »Waſſertheilchen ſtattfinden, welche entgegengeſetzt iſt derjenigen, die in dem »vorhin betrachteten Falle das Chlor veranlaßt.

»Eine ſolche Subſtanz iſt z. B. die ſchweflichte Säure, welche das »Beſtreben hat, mit dem Sauerſtoffe des Waſſers ſich zu verbinden. Dieſes »Beſtreben iſt hinreichend, um die Waſſertheilchen zu polariſiren, und unter »den geeigneten Umſtänden einen Strom in Bewegung zu ſetzen.

»Stellt man an das Ende einer Reihe von Waſſermolecülen einen »Körper, welcher zu dem Anion derſelben, an das andere Ende dieſer Reihe »eine Subſtanz, die zu dem Kathion dieſer Molecüle eine chemiſche Anzie»hung äußert, ſo iſt klar, daß die fragliche Reihe der elektrolytiſchen Waſſer»theilchen unter einem gedoppelten polariſirenden Einfluß ſich befindet, und »die hierbei ins Spiel kommenden elektromotoriſchen Kräfte ſich gegenſeitig »verſtärken. Eine Reihe ſolcher elektrolytiſcher Molecüle, die an dem einen »ihrer Enden z. B. Chlor, an dem anderen Ende ſchweflichte Säure hat, »muß daher, wenn durch einen leitenden Bogen zum Volta'ſchen Kreiſe »geſchloſſen, einen Strom erregen, ſtärker als derjenige, welcher auftritt in »dem Falle, wo entweder nur Chlor oder nur ſchweflichte Säure unter ſonſt »gleichbleibenden Umſtänden zur Anwendung kommt.

»Es iſt kaum nöthig zu bemerken, daß meine Waſſerſtoffplatinkette, »wie auch die neue Grove'ſche Gasſäule, Volta'ſche Vorrichtungen ſind, »welche, obwohl einige Eigenthümlichkeiten darbietend, dennoch in die Klaſſe »der vorhin beſprochenen Combinationen gehören.«

Endlich beſpricht Schönbein noch die ſogenannten Hyperoxydketten. Taucht man eine reine und eine mit einer Hülle von Bleihyperoxyd verſehene Platinplatte in Waſſer, ſo wird ein Strom entſtehen, ſobald man die beiden Metallplatten metalliſch verbindet, und zwar geht der poſitive Strom von der reinen Platinplatte durch die Flüſſigkeit zu der mit Hyperoxyd überzogenen.

Die Strombildung ſowohl, wie auch die Richtung derſelben erklärt ſich leicht.

Es iſt bekannt, daß die Hälfte des Sauerſtoffs im Hyperoxyd große Geneigtheit zeigt, ſich abzutrennen und mit oxydirbaren Körpern zu verbinden; Schönbein hat ferner gezeigt, daß das zweite Miſchungsgewicht Sauerſtoff im fraglichen Hyperoxyd eine größere Verwandtſchaft gegen oxy-

dirbare Stoffe äußert, als ſelbſt ungebundener oder freier Sauerſtoff; das Hyperoxyd wird alſo polariſirend auf die Waſſertheilchen wirken, und zwar ſo, daß ſie ihre Waſſerſtoffſeite gegen das Hyperoxyd kehren.

Andere Hyperoxyde verhalten ſich auf gleiche Weiſe.

Vergleichung der Schönbein'ſchen Theorie mit der Contact- 103
theorie. Vergleichen wir nun die Schönbein'ſche Theorie mit der Contacttheorie, wie ſie in meinem Lehrbuche vertreten iſt, ſo müſſen wir geſtehen, daß beide vollkommen parallel laufen, daß die Erſcheinungen der offenen und der geſchloſſenen Kette durch beide gleich gut erklärbar ſind; denn Schönbein verlegt nur den Ort der Elektricitätserregung von der Berührungsſtelle der Metalle an die Berührungsſtelle zwiſchen Metall und Flüſſigkeit. Darin aber iſt Schönbein's Theorie entſchieden im Vortheil, daß ſie in allen Volta'ſchen Combinationen die Richtung des Stromes aus den chemiſchen Beziehungen der die Kette bildenden Subſtanzen zum Voraus beſtimmen kann, während der Contacttheorie ein ſolches Princip fehlt.

Daß dieſelben Metalle bald einen Strom nach der einen bald nach der andern Richtung geben, je nachdem man zwiſchen dieſelben dieſe oder jene Flüſſigkeit bringt, erklärt ſich nach den modificirten Contacttheorieen ganz gut aus dem verſchiedenen elektromotoriſchen Verhalten der Flüſſigkeiten zu den Metallen, die Schönbein'ſche Theorie läßt uns aber nicht allein die Möglichkeit einer Stromumkehrung durch den Wechſel der Flüſſigkeit einſehen, ſondern ſie ſagt uns auch, in welchen Fällen und warum die Stromumkehrung ſtattfindet.

Die Schönbein'ſche Theorie beſtimmt alſo immer a priori ſchon nach der chemiſchen Natur der Stoffe, welche die Kette bilden, die Richtung des Stromes, mag nun die Kettte aus zwei Metallen und einer Flüſſigkeit oder aus zwei Flüſſigkeiten und einem Metalle gebildet ſeyn, während uns die Contacttheorie in manchen Fällen in ſo weit im Stich läßt, daß ſie nicht im Stande iſt aus einem allgemeinen Grundſatz für alle Fälle die Richtung des Stroms zum Voraus zu beſtimmen und daß es in ſolchen Fällen (z. B. bei Ketten aus Waſſer, Salzſäure und Gold; Waſſer, ſchweflichte Säure in Platin) erſt eines Verſuchs bedarf, um über die Richtung des Stromes Auskunft zu erhalten.

Dieſen Betrachtungen zufolge ſollte man meinen, es könne gar kein Zweifel mehr obwalten, für welche der beiden Theorien man ſich zu entſcheiden habe, ob für Schönbein's chemiſche Theorie oder für die modificirte Contacttheorie. Deſſen ungeachtet kann ich es, ſo zu ſagen, doch noch nicht auf mein phyſikaliſches Gewiſſen nehmen, mich unbedingt für Schönbein's Theorie auszuſprechen, weil ſie eine wohlbegründete Thatſache, den Volta'ſchen Fundamentalverſuch gänz-

lich ignorirt und von demſelben nicht entfernt eine Erklärung zu geben im Stande iſt.

Daß eine Elektricitätserregung ſtattfindet, wenn verſchiedene Metalle mit einander in Berührung kommen, iſt eine durch directe in mannichfachen Formen angeſtellte Verſuche hinläglich conſtatirte Thatſache, die man weder ignoriren darf, noch durch ſolche Künſteleien in der Deutung des Verſuchs beſeitigen kann, wie es die Gegner der Contacttheorie gethan haben.

Hier möchte ſich aber, meiner Anſicht nach, ein ſehr einfacher Ausweg bieten. Steht denn der Fundamentalverſuch im Widerſpruch mit der Schönbein'ſchen Theorie? — Keineswegs! — Alle Sätze der Schönbein'ſchen Theorie zugegeben, wird durch dieſelbe die Möglichkeit nicht ausgeſchloſſen, daß eine elektriſche Spannung eintritt, wenn zwei Metalle von verſchiedener Oxydirbarkeit mit einander in Berührung gebracht werden. — Nimmt man in die Schönbein'ſche Theorie dieſen Satz noch auf, ſo genügt ſie allen bis jetzt bekannten Thatſachen.

Betrachten wir nach dieſer Anſicht den Vorgang, welcher bei Schließung einer einfachen Kette ſtattfindet. Bringt man mit Waſſer auf der einen Seite eine Zinkplatte, auf der andern Seite eine Platinplatte in Berührung, ſo wird eine elektriſche Polariſation eintreten, wie ſie durch Figur 88 angedeutet iſt, nur müſſen wir von der Polariſation der einzelnen Zinktheilchen und der einzelnen Platintheilchen abſtrahiren, welche meines Wiſſens auch durch keine Thatſache gefordert wird. Statt der Fig. 88 würde uns Fig. 89 den Polariſationszuſtand darſtellen; die elektriſche Polarität der Waſſertheilchen ſowohl als auch der Metallplatten iſt jedoch in dieſem Falle noch gering. Sobald man aber Z und P in Berührung bringt, wird das Zink bedeutend ſtärker poſitiv, die

Fig. 88.

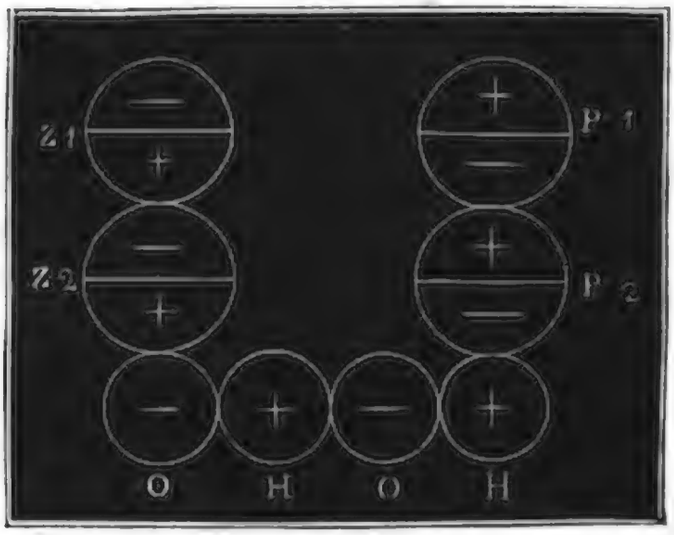
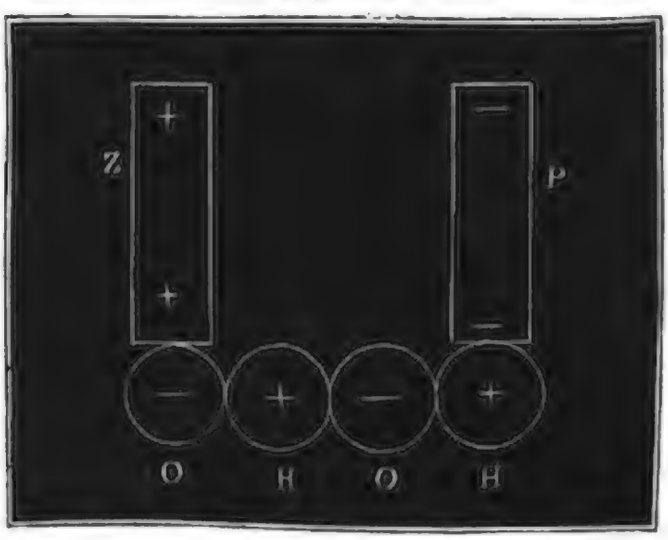


Fig. 89.



Platinplatte wird ſtärker negativ und in Folge deſſen wird auch die Polariſation der Waſſertheilchen zwiſchen beiden Platten bedeutend verſtärkt.

Ich habe hier den Weg nur angedeutet, auf welchem mir eine Ausgleichung der Differenzpunkte beider ſtreitenden Theorien möglich ſcheint, eine vollſtändige Durchführung dieſer Idee mir für ſpäter vorbehaltend.

Von manchen Seiten wird man wohl einen ſolchen Vermittelungsverſuch als ein verwerfliches juste milieu bezeichnen, welches zwiſchen den extremen Partheien zu laviren ſuche. Dagegen habe ich zu erwidern, daß der Naturforſcher beim Aufbau ſeiner Theorie alle Thatſachen berückſichtigen muß. Thut man dies, ſo kann man ſich nicht unbedingt für eine chemiſche Theorie entſcheiden, welche den Fundamentalverſuch ignorirt, man kann aber auf der andern Seite auch nicht unbedingter Anhänger der Contacttheorie in ihrer bisherigen Form bleiben, man wird die eine oder die andere der beiden Theorien ſoweit modificiren müſſen, daß ſie alle bekannten Thatſachen umfaßt, wie ich es verſucht habe. Ob ich bei dieſem Verſuch den richtigen Weg eingeſchlagen habe, laſſe ich freilich dahingeſtellt ſeyn.

Der Name Contactelektricität, Berührungselektricität iſt jedenfalls ein ganz unpaſſender und mag nicht wenig zur Verwirrung der Streitfrage beigetragen haben; eigentlich iſt jede Elektricität, wo und wie ſie auch auftreten mag, Berührungselektricität, denn zur Erregung von Elektricität hat man unter allen Umſtänden zwei verſchiedenartige Körper nöthig, welche in Berührung gebracht werden müſſen: bei den Elektriſirmaſchinen Glas und Amalgam, bei der Volta'ſchen Säule zwei Metalle und eine Flüſſigkeit, bei der Thermoſäule verſchiedenartige Metallſtäbe. — Ueberall wo heterogene Körper in Berührung gebracht werden, findet wohl eine Elektricitätsentwickelung ſtatt, es wird ſich aber alsbald ein elektriſcher Gleichgewichtszuſtand einſtellen. Soll eine fortdauernde Elektricitätserregung ſtattfinden, ſo muß dieſer Gleichgewichtszuſtand fortwährend geſtört werden; dies findet bei der Reibungselektricität dadurch ſtatt, daß die ſich eben ſehr innig berührenden Stellen der heterogenen Körper außer Berührung gebracht werden; bei der Hydrokette durch die Zerſetzung des Elektrolyten. Bei der Thermoſäule wird die Strömung des elektriſchen Gleichgewichts durch die Strömung des thermiſchen Gleichgewichtes bedingt.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Bestimmung der Constanten Volta'scher Ketten.

---

104 **Einheit der Stromstärke.** Will man verschiedene Stromstärken vergleichen, so muß man sich vor allen Dingen über ein gemeinschaftliches Maaß für dieselbe verständigen. Bis jetzt sind meines Wissens drei verschiedene Stromeinheiten in Vorschlag und Anwendung gebracht worden, welche wir etwas näher betrachten wollen.

Pouillet schlägt als Stromeinheit den Strom vor (P. A. XLII. S. 281), den ein thermoelektrisches Element von Kupfer und Wismuth liefert, welches so geschlossen ist, daß der Gesammtwiderstand gleich dem eines 20 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes ist, wenn die eine Löthstelle auf einer Temperatur von 100^0, die andere auf einer Temperatur von 0^0 erhalten wird.

Jacobi (P. A. XLVIII. 26) vergleicht die Ablenkung einer Nerwander'schen Tangentenbousſole mit der Wasserzersetzung, welche der Strom gleichzeitig hervorbringt, er reducirt also die Angaben der Tangentenbousſole auf chemischen Effect. Als Einheit der Stromstärke nimmt er dabei denjenigen Strom an, welcher in 1 Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas (von 0^0 Temperatur bei einem Luftdruck von 760^{mm}) liefert.

Weber nimmt zur Einheit der Stromstärke denjenigen Strom, welcher die Einheit der Fläche umkreisend in der Ferne dieselbe Wirkung hervorbringt, wie die Einheit des freien Magnetismus.

Um zu erläutern, was Weber unter der Einheit des freien Magnetismus versteht, müssen wir etwas weiter ausholen.

Ein nördlich oder südlich von einer Magnetnadel befindlicher Magnetstab, dessen Axe rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, wie dies Fig. 90 (a. f. S.) dargestellt ist, wird ein Bestreben äußern, die Nadel aus dem magnetischen Meridian abzulenken, während der Erdmagnetismus sie in demselben zurückzuführen strebt. Die Größe der

Ablenkung hängt von dem Verhältniß beider Kräfte ab, und zwar ist die Tangente des Ablenkungswinkels der Quotient der Erdkraft in die Stabkraft, also

Fig. 90.

$$\frac{f}{T} = tang.\ v \ldots\ldots 1)$$

wenn wir mit v den Ablenkungswinkel bezeichnen, mit f die Kraft, mit welcher der Stab der Nadel aus dem magnetischen Meridian herauszudrehen, und mit T die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus dieselbe zurückzuführen strebt. (Das Nähere in meinem Lehrbuche der Physik 3te Aufl. 2. Bd. S. 40 u. f.)

Nun ist aber die Wirkung des Stabs auf die Nadel der dritten Potenz der Entfernung von derselben proportional, so lange diese Entfernung einigermaßen groß ist im Vergleich zu den Dimensionen des Stabes und der Nadel. Bezeichnen wir mit r diese Entfernung, so muß also das Product fr^3 eine constante Größe seyn, die wir mit M bezeichnen wollen. —

Dieses Product fr^3 oder M bezeichnet aber nichts anderes als das Drehungsmoment, welches der Stab auf die Nadel ausüben würde, wenn er sich in der Entfernung 1 von ihr befände, und seine Wirkung bei dieser Annäherung wirklich stets in demselben Verhältniß zugenommen hätte, in welchem der Kubus der Entfernung abnahm. Dieß Verhältniß zwischen Wirkung und Entfernung findet nun in der That für kleine Entfernungen nicht mehr statt, dieß hindert aber nicht das auf die Einheit reducirte Drehungsmoment fr^3 oder M für ein Maaß des Stabmagnetismus zu benutzen.

Multiplicirt man Gleichung 1 mit r^3 und setzt man $fr^3 = M$, so kommt

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v$$

oder

$$M = T\ r^3\ tang.\ v \ldots\ldots 2)$$

Nehmen wir an, der ablenkende Stab und die Nadel seyen gleich stark magnetisch, ferner der Magnetismus in beiden sey gerade so stark entwickelt, daß das reducirte Drehungsmoment M gleich ist dem Druck, welchen die Masse eines Milligramms an einem Hebelarm von 1^{mm} angreifend hervorbringen würde, wenn auf diese Masse statt der beschleunigenden Kraft der Schwere eine Kraft wirkte, un-

ter deren Einfluß der doppelte Fallraum der ersten Secunde gleich der Längeneinheit (1^{mm}) wäre, so ist dies die Einheit des freien Magnetismus.

Mit dieser Einheit ist auch die erdmagnetische Kraft zu messen oder, mit anderen Worten, T ist in dieser Einheit auszudrücken. Wie der Zahlenwerth von T bestimmt wird, wenn man das eben definirte absolute Maaß zu Grunde legt, findet man in Weber's Originalabhandlungen über diesen Gegenstand, und in elementarer Darstellung in meinem Lehrbuch der Physik (3te Aufl. 2ter Band Seite 48).

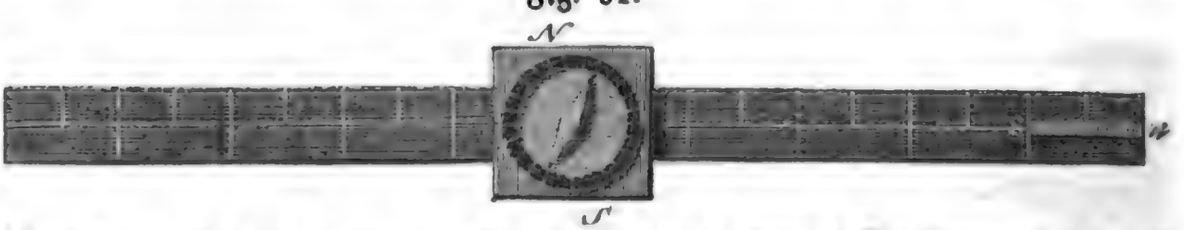
Ist der Werth von T nach absolutem Maaß bestimmt, so giebt uns die Gleichung 2 das reducirte Drehungsmoment eines Magnetstabs in derselben Einheit ausgedrückt.

Die Größe M hat aber noch eine andere Bedeutung als die bisher besprochene. Es ist nämlich $C = T \,.\, M$ das Drehungsmoment, mit welchem der Erdmagnetismus den rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stehenden Stab aus dieser Lage herauszudrehen strebt (Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Band Seite 44). M bezeichnet also die Größe dieses Drehungsmomentes für den Fall, daß $T = 1$ wäre.

Wenn man also beobachtet hat, um wie viel Grade eine Magnetnadel durch einen nördlich oder südlich von ihm in der Lage Fig. 90 befindlichen Stab abgelenkt wird, so kann man nach dieser Beobachtung mittelst der Gleichung 2 das Drehungsmoment berechnen, mit welchem der Erdmagnetismus den Stab, welcher rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian liegt, aus dieser Lage herauszudrehen strebt.

Bringt man den Magnetstab östlich oder westlich von der Magnetnadel an, also in eine solche Lage, wie sie Fig. 91 dargestellt ist, so lenkt nun der Stab bei gleicher Entfernung die Nadel stärker ab, und zwar so, daß die Tangente des Ablenkungswinkels u jetzt doppelt so groß ist als die Tangente des

Fig. 91.



Ablenkungswinkels v, welchen derselbe Stab bei gleicher Entfernung, aber in der Lage Fig. 90, hervorgebracht haben würde; unter übrigens gleichen Umständen, ist also $tang.\, v = \frac{tang.\, u}{2}$, hat man also die Ablenkungsversuche nicht in der Lage Fig. 90, sondern in der Lage Fig. 91 gemacht, so ergiebt sich nun

$$M = \frac{T\, r^3\, tang.\, u}{2}.$$

Das Verhalten des Kreisstromes, welcher den in der Ebene des mag-

netischen Meridians liegenden Ring der Tangentenbousſole durchläuft, gegen den Erdmagnetismus sowohl wie gegen die Magnetnadel in seiner Mitte läßt sich nun mit der Wirkung des in der Lage Fig. 91 befindlichen Magnetstabes vergleichen.

Wenn der Kreisstrom der Tangentenbousſole die Nadel um u Grade ablenkt, so ist (Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Band S. 203)

$$tang.\ u = \frac{2\pi g}{r T},$$

wenn g die Stromstärke und r den Halbmesser des Ringes bezeichnet; wir haben also für das reducirte Drehungsmoment des Kreisstromes G, welches dem Drehungsmomente M eines Magnetstabes entspricht

$$G = \frac{T r^3\ tang.\ u}{2} = \pi r^2 g \ldots . 3).$$

Es ist dies G die Kraft, mit welcher unter den oben angegebenen Verhältnissen der Kreisstrom aus der Ebene des magnetischen Meridians herausgedreht werden würde, wenn die magnetische Erdkraft $= 1$ wäre.

Wenn $\pi r^2 = 1$ so wird $G = g$, es ist demnach g das Moment eines Kreisstromes, welcher die Einheit der Fläche umkreist.

Aus Gleichung 3 erhalten wir für g den Werth

$$g = \frac{T\ .\ r\ .\ tang.\ u}{2\pi} \ldots . 4),$$

wir erhalten also einen Werth für die Stromstärke g, gemessen durch das Drehungsmoment eines die Flächeneinheit umkreisenden Stromes dieser Stärke, in absolutem Maaß ausgedrückt, wenn man für T seinen Werth in absolutem Maaße setzt. —

Vergleichung der verschiedenen Stromeinheiten. Theoretisch 105
sind diese drei verschiedenen Einheiten der Stromstärke vollkommen scharf bestimmt, wenn man also nur vom rein wissenschaftlichen Standpunkte aus die Sache betrachtet, erscheint jede dieser Einheiten annehmbar, der Vorzug gebührt aber von diesem Standpunkte aus jedenfalls der Weber'schen Einheit.

Anders aber wird man wohl wählen müssen, wenn man auch die praktischen Bedürfnisse gehörig würdigt.

Die galvanischen Ketten sind vielfach in die Technik eingetreten, es ist also von hoher praktischer Bedeutung, Methoden zu besitzen, nach welchen man die Constanten einer galvanischen Kette mit Genauigkeit bestimmen kann. — Leider sind solche Methoden bis jetzt noch sehr wenig verbreitet, und so kommt es denn, daß wir von vielen verschiedenen Constructionen galvanischer Apparate wohl Beschreibungen ihrer Wirksamkeit haben, aber keine solche, welche eine genaue Vergleichung derselben mit andern Appa-

raten gestatten, und eine Folge davon ist, daß man sich vielfach über den Werth galvanischer Apparate täuscht.

Zur Ermittlung der Constanten der galvanischen Ketten muß man sich vor allem über eine Stromeinheit verständigen, wenn die von verschiedenen Beobachtungen an verschiedenen Orten mit verschiedenen Instrumenten gemachten Beobachtungen vergleichbar seyn sollen. Soll aber eine solche Stromeinheit populär werden, soll sie auch für Praktiker zugänglich seyn, welche zwar mit den Grundgesetzen der Elektricitätslehre bekannt sind, aber doch nicht in die Specialitäten der Wissenschaft eindringen können, so darf man nur eine solche Stromeinheit wählen, deren Definition leicht und allgemein verständlich ist; ferner muß diese Einheit aber auch eine solche seyn, daß die Bestimmung der Stromstärke nach derselben mit einem möglichst geringen Aufwand von Apparaten möglich ist.

Von diesem Gesichtspunkte aus muß man wohl der von Jakobi zuerst in Anwendung gebrachten Stromeinheit unbedingt den Vorzug geben. — Ich will versuchen diese Behauptung zu rechtfertigen.

106 **Reduction der Pouillet'schen Stromeinheit auf chemisches Maaß.** Um die Angaben irgend einer Bussole mit der Pouilet'schen Einheit zu vergleichen, muß man ein thermoelektrisches Element haben, welches genau gleich ist dem von Pouillet angewandten, und muß dafür sorgen, daß der Gesammtwiderstand der Kette mit Inbegriff des Bussolen- oder Multiplicatordrahtes gleich ist dem Widerstande eines 20 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes. — Nun ist aber der Strom, welchen ein solches thermoelektrisches Element unter den angegebenen Bedingungen hervorbringt, außerordentlich schwach, oder wenigstens ungleich schwächer als die Ströme hydroelektischer Ketten, welche irgend einen praktisch anwendbaren Effect liefern sollen, an solchen Instrumenten also, an welchen man gewöhnlich die Stromstärke hydroelektischer Ketten mißt, wie Tangenbussolen, Sinusbussolen, oder Mohr's Torsionsgalvanometer wird also die Pouillet'sche Stromeinheit nur eine sehr geringe Ablenkung hervorbringen. Diese Einheit der Stromstärke bringt z. B. an einer Weber'schen Tangentenbussole, welche einen Ring von 40 Centimeter Durchmesser hat, eine Ablenkung von ungefähr 5 bis 7 Minuten, an Mohr's Torsionsgalvanometer eine Ablenkung von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Grad hervor, man müßte also an diesen Instrumenten sehr kleine Unterabtheilungen eines Grades noch mit Genauigkeit ablesen können, wenn man diesen Ablenkungswinkel hinlänglich genau bestimmen wollte, um ihn selbst oder seine Tangente bei der Messung stärkerer Ströme als Einheit zu Grunde zu legen.

Da nun die Instrumente keine hinlänglich genaue Ablesung so kleiner

Winkel gestatten, so muß man einen indirecten Weg einschlagen. Am einfachsten möchte wohl folgende Methode zum Ziele führen:

Man lasse den Strom des thermoelektrischen Elementes, welcher als Einheit dienen soll, durch einen Multiplicator gehen und beobachte die hervorgebrachte Ablenkung: sie sey 16°. Der Gesammtwiderstand ist hier gleich dem Widerstand eines 20 Meter langen Kupferdrahtes von 1^{mm} Durchmesser.

Nun lasse man auch den Strom eines hydroelektrischen Elementes durch denselben Multiplicator gehen, schalte aber in Form von Platin oder Neusilberdraht soviel Widerstand ein, daß die Ablenkung eben so groß ist, als die von dem thermoelektrischen Elemente hervorgebrachte, daß sie in unserem Beispiel also ebenfalls 16° beträgt.

Der Gesammtwiderstand, welchen jetzt der hydroelektrische Strom zu überwinden hat, muß ermittelt und auf Kupferdraht reducirt werden: er sey gleich dem Widerstand eines Kupferdrahtes von 1^{mm} Durchmesser und einer Länge von 22000 Meter.

Macht man den Gesammtwiderstand durch Wegnahme von Draht geringer, so wird der Strom in gleichem Maaße stärker werden. Macht man z. B den Widerstand 200mal geringer, so also, daß der von dem Strom des hydroelektrischen Elementes zu überwindende Gesammtwiderstand nur noch gleich ist dem Widerstand eines 110 Meter langen Normalkupferdrahtes, so wird jetzt der Strom auch 200mal stärker seyn als derjenige, welcher am Multiplicator 16° Ablenkung hervorbrachte. Dieser Strom wird an jedem zur Messung stärkerer Ströme geeigneten Instrumente, also auch an einer Weber'schen Tangentenbussole eine bedeutende Ablenkung hervorbringen; sie sey 19°.

Ein Strom also, welcher an der Tangentenbussole einen Ablenkungswinkel von 19° giebt, dessen trigonometrische Tangente = 0,344, ist 200mal stärker als die Stromeinheit, die Tangente des Winkels, welcher die Stromeinheit entspricht, ist also $\frac{0,344}{200} = 0,00172$.

Nach dieser Bestimmung sind nun alle Angaben der Tangentenbussole leicht auf die Pouillet'sche Stromeinheit zu reduciren.

Pouillet wandte bei allen seinen Untersuchungen über diesen Gegengenstand nicht Tangentenbussolen sondern Sinusbussolen an.

Um in einer Minute 1 Gramm Wasser zu zersetzen, muß der durch das Wasser hindurchgeleitete Strom eine Stärke = 13787 Pouillet'scher Einheiten haben. Ein jedes Gramm Wasser liefert 1862,4 Kubikcentimeter Knallgas (von 0° und einem Luftdruck von 760^{mm}); folglich ist, um 1 Kubikcentim. Knallgas per Minute zu liefern, eine Stromstärke von $\frac{13787}{1862,4} = 7,4$ Pouillet'schen Einheiten nöthig.

Die obigen Auseinandersetzungen werden wohl genügen, um darzuthun, daß die Reduction der Angaben irgend eines für stärkere Ströme brauchbaren Rheometers auf die Pouillet'sche Stromeinheit nur durch eine ganze Reihe keineswegs ganz einfacher Operationen erhalten werden kann. Zunächst muß man den Widerstand des thermo-elektrischen Elementes, und des Multiplicators bestimmen und so viel Widerstand noch hinzufügen, daß die Summe der Widerstände den oben angegebenen Werth hat, sodann muß man den Leitungswiderstand des hydroelektrischen Elementes ermitteln, und nachdem man in seinen Schließungsbogen noch so viel Widerstand eingeschaltet hat, die Größe dieses Widerstandes bestimmen; dann muß man den Gesammtwiderstand wieder auf einen aliquoten Theil vermindern und die entsprechende Ablenkung eines für stärkere Ströme anwendbaren Rheometers beobachten u. s. w. — Man kommt also hier nur auf vielen Umwegen zum Ziel, und da bei jeder Operation Beobachtungsfehler unvermeidlich sind und sich dieselben im Endresultat summiren, so hat also die Complicirtheit des Verfahrens auch einen nachtheiligen Einfluß auf die Genauigkeit des Resultates.

Die oben mitgetheilte Vergleichung der Pouillet'schen Stromeinheit mit chemischem Effect giebt uns freilich ein Mittel an die Hand, weit leichter die Angaben eines Rheometers in diese Stromeinheit zu verwandeln; man hat nur gleichzeitig den Strom durch das Rheometer und einen Wasserzersetzungsapparat gehen zu lassen, um zu ermitteln, wie viel Knallgas in einer Minute entwickelt wird, während das Rheometer eine bestimmte Gradzahl angiebt. Da jedes Kubikcentimeter Knallgas 7,4 Pouillet'schen Einheiten entspricht, so weiß man nun also auch, wie viel Pouillet'sche Stromeinheiten der beobachteten Ablenkung des Rheometers entspricht. — Hier hat man aber doch nur dem Wort nach die Pouillet'sche Einheit in Anwendung gebracht. In der That hat man doch nur die Ablenkung des Rheometers mit dem chemischen Effect verglichen und es ist kein Grund einzusehen, warum man nicht bei dieser Vergleichung stehen bleiben soll.

107 **Reduction der Weber'schen Stromeinheit auf chemisches Maaß.** Die Definition von Weber's absolutem Maaß der Stromstärke ist keineswegs eine so einfache zu nennen, daß man hoffen dürfte, den richtigen Begriff dieser Einheit in weiteren Kreisen geläufig zu machen. Von diesem Uebelstand könnte man aber noch absehen, wenn nur die Bestimmung der Stromstärke nach diesem absoluten Maaße leicht auszuführen wäre.

Hat man an einer Weber'schen Tangentenbouſſole (die nicht weniger als 40 Centimeter Durchmesser haben darf) den Ablenkungswinkel abge-

lesen, den ein Strom hervorbringt, so erhält man den Strom stärker in absolutem Maaße ausgedrückt durch die Formel

$$g = \frac{T.r.\ tang\ u}{2\pi};$$

nach dieser Formel ergiebt sich allerdings der Werth der Stromstärke sehr leicht, wenn man nur den richtigen Werth von T kennt, d. h. wenn man weiß, wie groß am Beobachtungsorte der horizontale Theil der Intensität des Erdmagnetismus, in absolutem Maaß ausgedrückt, ist.

Die Bestimmung von T (Lehrbuch der Physik 3. Aufl. 2. Bd.) hat freilich für den Physiker von Fach keine weiteren Schwierigkeiten, für manchen Techniker aber, welcher die Stromstärke seiner Kette bestimmen will, ist sie doch zu complicirt, sie ist wenigstens weit schwieriger ausführbar als die Vergleichung der Angaben eines Rheometers mit der chemischen Wirkung des Stromes in der von Jakobi angewandten Weise. Es wäre freilich nicht gerade nöthig, den Werth von T durch Versuche am Beobachtungsort zu ermitteln, man könnte ihn aus den magnetischen Karten von Gauß entnehmen, wenn man überzeugt seyn könnte, daß an dem Beobachtungsort die Wirkung der horizontalen magnetischen Erdkraft nicht durch das Eisen modificirt wird, welches sich im Locale befindet, und welches in der That bedeutende Veränderungen von T hervorbringen kann. So ergiebt sich z. B. sowohl aus den Gauß'schen Karten als auch aus directen Beobachtungen, die im Freien angestellt wurden, daß T für Marburg $= 1{,}88$ ist, während Kasselmann den Werth von T in dem Locale, in welchem er die Versuche zur Vergleichung der Stromstärke verschiedener galvanischen Ketten anstellt, gleich 1,83 fand (über die galvanische Kohlenzinkkette von Kasselmann, Marburg 1844 pag. 75); es ist also unumgänglich nöthig, in dem Locale selbst, in welchem man die Versuche über Stromstärke anstellt, auch den Werth von T zu ermitteln.

Weber's Stromeinheit zersetzt in der Secunde 0,000009376 Grm. Wasser; in der Minute also 0,00056256 Grm., oder was dasselbe ist, diese Stromeinheit liefert in der Minute 1,0477 Kubikcentimeter Knallgas.

Um die Stromstärke nach diesem absoluten Maaße zu bestimmen, bedarf man nothwendig einer Weber'schen Tangentenbousole, deren Ring nicht viel weniger als 40 Centimeter Durchmesser haben darf, während man Rheometer verschiedener Art anwenden kann, wenn man als Einheit der Stromstärke denjenigen Strom zu Grunde setzt, welche in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas liefert. —

Sehen wir nun, wie man zu verfahren hat, um die Angaben der Rheometer auf diese Einheit zu beziehen.

Bestimmung der Stromstärke nach chemischem Maaß. Um die 108

magnetische Wirkung des Stromes im Rheometer auf chemischen Effect zu reduciren, hat man nur gleichzeitig den Strom durch einen Wasserzersetzungsapparat und das Rheometer gehen zu lassen; am zweckmäßigsten wendet man ein Voltameter an, welches die beiden Gase als Knallgas gemischt giebt.

Ein Strom, der z. B. durch ein Mohr'sches Torsionsgalvanometer und einen Wasserzersetzungsapparat ging, lieferte in einer Minute 40 Cubikcentimeter Knallgas, während die entsprechende Torsion des Galvanometers 490° betrug.

Da die Torsion dieses Galvanometers stets der Stromstärke proportional ist, so wäre zur Bildung von 1 Kubikcentimeter Knallgas ein Strom nöthig, der eine Torsion von $^{490}/_{40} = 12{,}2\ .\ .^{0}$ entspricht, oder jeder Grad Torsion entspricht $^{40}/_{490} = 0{,}0816$ Kubikcentimetern Knallgas. Um also die an diesem Galvanometer abgelesene Gradzahl auf die Jakobi'sche Einheit zurückzuführen, hatte man also dieselbe nur mit 0,0816 zu multipliciren. Einer Torsion von v^{0} entspricht also die Stromstärke $0{,}0816\ v$.

Ganz ähnlich ist zu verfahren, wenn man die Angaben der Tangentenbussole auf chemischen Effect ruduciren will. An einem solchen Instrumente wurde z. B. eine Ablenkung von 22° beobachtet, während in einer Minute 30,8 Kubikcentimeter Knallgas entwickelt wurden. Da die Temperatur 15° C. war und der Barometerstand 740 Millimeter betrug, so ist diese Gasmenge auf 0° und einen Druck von 760^{mm} reducirt gleich 28,18 Kubikcentimeter.

Da bei diesem Instrument die Stromstärken der Tangente des Ablenkungswinkels proportional sind, so ist die Tangente von 22° also 0,404 der Gasmenge 28,18 entsprechend, der Tangente 1 entspricht also die Gasmenge $\frac{28{,}18}{0{,}404} = 69{,}7$, man hat also die Tangente irgend eines an diesem Instrumente abgelesenen Ablenkungswinkels mit 69,7 zu multipliciren, um zu erfahren, wie viel Kubikcentimeter Knallgas der Strom per Minute geliefert haben würde, wenn er in dieser Stärke durch einen Wasserzersetzungsapparat gegangen wäre; dem Ablenkungswinkel v entspricht also nach unserer chemischen Stromeinheit die Stomstärke $69{,}7\ tang.\ v$.

In ähnlicher Weise ist es auch leicht, die Angabe einer Sinusbussole auf diese Einheit zu reduciren.

Der Factor, mit welchem man die Angaben eines Rheometers multipliciren muß, um die Stromstärke in chemischem Maaße ausgedrückt zu erhalten, muß natürlich mit großer Genauigkeit ermittelt werden, es reicht dazu also ein einziger Versuch nicht aus; man muß eine Reihe von Versuchen mit verschiedenen Stromstärken machen, aus jedem den Factor be-

rechnen, und aus den so erhaltenen Werthen das Mittel nehmen. Die verschiedene Stromstärke wird am leichtesten erhalten, wenn man anfangs mit einer solchen Kette operirt, welche eine starke Wasserzersetzung liefert, und alsdann den Strom durch Wegnahme einzelner Elemente schwächt.

Eine solche Versuchsreihe, welche Mohr mit seinem Torsionsgalvanometer anstellte, gab folgende Resultate.

Anzahl der Zellen.	Torsion des Galvanometers.	Entwickeltes Knallgas in einer Minute.	Gasmenge, welche einem Torsionsgrad entspricht.
8	530°	44,5KC	0,08399
8	587	46	0,07836
8	429	37	0,08624
7	520	41	0,07884
7	490	40	0,08163
7	409	33,5	0,08278
6	423	35	0,08278
6	357	30	0,08403
5	338	29	0,08508
5	337,3	28,5	0,08444
5	315	26	0,08254
4	277	23,5	0,08483
4	263,5	23	0,08728
3	181	16	0,08838
3	181	15,75	0,08701
3	174	15	0,08621
2	85	7	0,08235
			Mittel 0,08386

Da die magnetische und die chemische Wirkung stets proportional ist, so müßte, wenn keine Beobachtungsfehler vorkämen, der Quotient aus der Gradzahl in die Gasmenge immer denselben Werth haben; das ist jedoch nur annähernd der Fall. Das Mittel aus allen Quotienten aber ist 0,08386; man erhält also die Stromstärke in chemischem Maaß ausgedrückt, wenn man die am Instrument abgelesene Gradzahl v mit 0,08386 multiplicirt, oder es ist

$$S = 0{,}08386\ v.$$

Betrachten wir noch eine ähnliche Versuchsreihe, welche angestellt wurde, um die Beziehungen zweier Tangentenbussolen zur chemischen Einheit zu ermitteln. Der Strom wurde gleichzeitig durch den Wasserzersetzungsapparat und zwei Tangentenbussolen geleitet, von denen die größere einen Ring von 38, die kleinere einen solchen von 30 Centimeter Durchmesser hatte. Damit die

Nadeln beider Buſſolen keinen Einfluß auf einander ausüben konnten, waren ſie in einer Entfernung von 25 Fuß von einander aufgeſtellt. Folgende ſind die Beobachtungsreſultate.

Zahl der Erregungszellen.	Ablenkung		Entwickelte Gasmengen in 3′
	gr. Buſſ.	kl. Buſſ.	
12	28,5	31	125
8	24,8	27,35	106
6	22	23,5	92,5
4	18,75	20,4	78
3	13,75	16,07	56
2	5,9	6,5	23,7

Während des Verſuchs, d. h. während der drei Minuten, innerhalb welcher das Gas aufgefangen wurde, ſchwankte die Nadel nur ſehr wenig, ſie ging regelmäßig zurück, doch war der Rückgang in 3′ höchſtens $\frac{1}{2}^0$. Die Gradzahlen der Tabelle ſind ſtets das Mittel aus den zu Anfang und zu Ende der 3′ abgeleſenen Winkeln.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels in die entſprechende Gasmenge einer Minute dividirt, ſollte eigentlich eine conſtante Größe ſeyn, welche angiebt, wie viel Gas per Minute ein Strom entwickelt, der an der Tangentenbuſſole eine Ablenkung von 45^0 hervorbringt (weil *tang.* $45^0 = 1$). Aus den verſchiedenen Verſuchen ergiebt ſich folgender Werth dieſes Quotienten.

Zahl der Beobachtung.	Quotient für die	
	große Buſſole.	kleine Buſſole.
1	76,7	69,3
2	76,5	71,0
3	76,2	70,9
4	76,6	69,8
5	76,3	69,3
6	76,6	69,3
Mittel	76,5	70

Während dieſer Verſuche war die Temperatur im Zimmer 15^0 C. und der Barometerſtand betrug 744^{mm}. Das Gas wurde in einer graduirten Röhre aufgefangen und der Waſſerſpiegel in der Röhre ſtand ungefähr 10 Centimeter höher als außen, was einer Druckhöhe von 7^{mm} Queckſilber

gleichzusetzen ist. Das Gas stand also unter einem Drucke von 733^{mm}. Auf 0^{0} Temperatur und einen Barometerstand von 760^{mm} reducirt, sind demnach die aus den Beobachtungen bei 15^{0} und 733^{mm} abgeleiteten Gasmengen 76,5 K.-C. und 70 K.-C. gleich 69,94 und 64,01 Kubikcentimetern oder in runden Zahlen 70 und 64.

Ein Strom also, welcher an der großen Bussole eine Ablenkung von 45^{0} hervorbringt, wird in der Minute 70, ein solcher, der an der kleinen Bussole dieselbe Ablenkung hervorbringt, wird in der Minute 64 Kubikcentimeter Knallgas von 0^{0} Temperatur und einer Spannkraft von 760^{mm} liefern.

Nach chemischem Maaße ist also die Stromstärke eines Stromes, welcher eine Ablenkung von v^{0} an der großen Tangentenbussole hervorbringt

$$S = 70\ tang.\ v.$$

Ein Strom, welcher eine Ablenkung von u Graden an der kleinen Tangentenbussole hervorbringt, hat nach chemischem Maaß eine Stromstärke

$$S' = 64\ tang.\ u.$$

Der constante Factor zur Reduction der Angaben eines Torsionsgalvanometers, einer Weber'schen Tangentenbussole oder einer Sinusbussole kann man also mittelst einer leicht ausführbaren Versuchsreihe erhalten. Es versteht sich von selbst, daß dieser Reductionsfactor immer nur für ein specielles Exemplar eines Rheometers gelten kann, und daß er selbst für dieses specielle Instrument nur so lange gilt, als man die Versuche an demselben Orte anstellt. Brächte man z. B. die Bussole von Freiburg nach Marburg, so würde der Reductionsfactor einen andern Werth erhalten, weil die horizontale Intensität des Erdmagnetismus in Marburg geringer ist, weil also schon ein schwächerer Strom, der weniger Knallgas liefert, eine Ablenkung von 45^{0} bewirkt.

Die oben mitgetheilten Beobachtungsreihen liefern uns nun auch einen Beleg, daß die Weber'sche Tangentenbussole nur dann zur Bestimmung der Stromstärke nach absolutem Maaß brauchbar ist, wenn ihr Durchmesser nicht bedeutend kleiner ist als 40 Centimeter (bei einer Nadellänge von 3 Centimeter). Nach der Formel 4, Seite 243, ist bei gleichem Ablenkungswinkel der Tangentenbussole die Stromstärke dem Radius des Ringes proportional. Die Ströme, welche in den beiden bisher besprochenen Bussolen eine Ablenkung von 45^{0} hervorbringen, sollten sich verhalten wie 38 zu 30. Der Quotient dieser Durchmesser ist 1,2666, während der Quotient der entsprechenden Stromstärke ist $\frac{70}{64} = 1{,}0937$.

Hat man den Reductionsfactor einer größeren Tangentenbussole durch

genaue Versuche ermittelt, so kann man aus demselben die horizontale Intensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte berechnen. Der Strom, welcher an unserer größeren Bussole (380^{mm} Durchmesser) eine Ablenkung von 45^0 hervorbringt, hat nach chemischem Maaß die Stromstärke

$$70$$

nach absolutem Maaß ist die Stromstärke

$$g = \frac{T \,.\, 190}{2 \,.\, 3{,}14}.$$

Das chemische Maaß verhält sich aber zum absoluten Maaß wie 1 : 1,0477; nach absolutem Maaß hat also jener Strom den Zahlenwerth $\frac{70}{1{,}0477} = 66{,}813$. Wir haben also

$$66{,}813 = \frac{T \,.\, 190}{2 \,.\, 3{,}14}$$

und daraus

$$T = 22{,}083.$$

Nach den Karten ist der Werth von T für Freiburg 22,1, was mit dem oben berechneten sehr gut übereinstimmt.

Um die Größe des chemischen Effectes zu ermitteln, welchen ein Strom hervorbringt, könnte man auch, statt die Menge des gebildeten Knallgases dem Volumen nach zu messen, die Menge des zersetzten Wassers dem Gewicht nach bestimmen, wie es Kasselmann (Ueber die galvanische Kohlenzinkkette, S. 68) gethan hat, und danach das Volumen der gebildeten Gasmenge berechnen. Diese Beobachtungsweise ist einer großen Genauigkeit fähig und sie ist deshalb jedem zu empfehlen, welchem eine genaue Waage zu Gebote steht. Die oben mitgetheilten Versuche liefern jedoch den Beweis, daß auch die directe Messung der Gasvolumina sehr genaue Resultate giebt.

109 **Widerstand des Elementes.** Die Stromstärke einer galvanischen Combination kann mittelst eines Rheometers direct gemessen und nach den so eben mitgetheilten Grundsätzen auf eine bestimmte Einheit, wozu, der allgemeinen Verbreitbarkeit wegen, die chemische Einheit am zweckmäßigsten ist, reducirt werden. Die Kenntniß der Stromstärke aber, welche der Apparat in einem besonderen Fall bei einer bestimmten Größe des außerwesentlichen Widerstandes liefert, reicht nicht hin, um die Wirkung des Apparates in allen Fällen bestimmen zu können; zu diesem Zweck muß der wesentliche Widerstand der Kette und die elektromotorische Kraft derselben bekannt sein. Gehen wir zunächst zur Bestimmung des wesentlichen Widerstandes über.

Die Widerstände müssen so gut wie die Stromstärke auf eine bestimmte Einheit bezogen werden, wenn die Resultate verschiedener Experi-

mentatoren vergleichbar sein sollen. Auch hier sind verschiedene Einheiten in Vorschlag und Anwendung gebracht worden. Mehrere Physiker nehmen als Einheit des Widerstandes den Widerstand eines Kupferdrahts an, welcher 1 Meter lang ist und einen Durchmesser von 1^{mm} hat. Diese Einheit werde ich in der Folge stets zu Grunde legen.

Um den Widerstand der Kette zu ermitteln, muß man bekanntlich die Stärke des Stromes messen, wenn der Reihe nach verschiedene Widerstände in den Schließungsbogen eingeschaltet sind.

Man muß also zunächst den Widerstand der eingeschalteten Drahtstücke auf die angenommene Einheit zurückführen. Dies wäre nun am einfachsten, wenn man zur Einschaltung nur Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser und verschiedener Länge anwendete; für ein 10, 15, 20 u. s. w. Meter langes Stück dieses Normaldrahtes wäre dann der Widerstand gleich 10, 15, 20 u. s. w. Da es aber schwer hält, Draht zu bekommen, welcher genau diesen Durchmesser hat, so wendet man Drähte an, welche nahezu diesen Durchmesser haben, mißt denselben genau und berechnet dann, wie lang ein Kupferdraht seyn müßte, welcher bei 1^{mm} Durchmesser denselben Widerstand äußert. Bei der Berechnung des wesentlichen Widerstandes der Kette bringt man dann diese reducirte Drahtlänge in Anwendung.

Der Querschnitt unseres Normaldrahts hat einen Querschnitt von $0{,}785\square^{mm}$. Da nun bei gleichem Widerstand die Länge der Drähte im Verhältniß ihrer Querschnitte wachsen muß, so ist klar, daß ein l Meter langer Kupferdraht, dessen Radius r und dessen Querschnitt also πr^2 ist, denselben Widerstand leistet wie ein Normaldraht von der Länge

$$L = \frac{l\ 0{,}785}{\pi r^2}$$

hier ist also L die reducirte Drahtlänge. Ein Draht z. B., welcher einen Durchmesser von $0{,}74^{mm}$, also einen Querschnitt von 0,43 Quadratmillimetern und eine Länge von 6 Metern hat, wird also denselben Widerstand leisten, wie ein $\frac{6\ .\ 0{,}785}{0{,}43} = 10{,}95$ Meter langer Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser; 10,95 ist also die reducirte Länge des zum Versuch angewandten Drahtes.

Von diesem Einschaltungsdraht von Kupfer hält man sich mehrere Stücke von verschiedener Länge, etwa 5, 10, 20 u. s. w. Meter lang für dergleichen Versuche ein für alle Mal bereit. Statt längerer Drahtstücke von Kupfer wendet man zweckmäßiger kürzere Drahtstücke von schlechter leitenden Metallen an, wie Platin, Eisen oder Neusilber; ihren Widerstand auf Normaldraht reducirt, muß man aber alsdann durch den Versuch ermitteln. Drähte bis zu ungefähr 10 Meter

Länge kann man bequem in die Schraubengänge aufwinden, welche in einen Holzcylinder von 2 bis 3 Zoll Durchmesser und entsprechender Länge eingeschnitten sind. Längere Drähte wendet man mit Seide übersponnen und auf Holzrollen aufgewickelt an. Auf diese Holzcylinder oder Holzrollen kann man dann gleich die auf Normaldraht reducirte Länge der Drahtstücke aufschreiben, so daß man in der Folge keine Reductionsrechnungen für die eingeschalteten Drähte mehr nöthig hat.

Um den Draht bequem in den Schließungsbogen einzuschalten, kann man Drahtklemmen anwenden, wie sie in Fig. 92 abgebildet sind.

Fig. 92.

Wie diese Schraubenklemmen anzuwenden sind, bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung.

Um auch dicke Drähte in die Löcher der Schraubklemmen befestigen zu können, müssen aber diese Löcher wenigstens 1 Linie im Durchmesser haben. Dadurch ist aber das Festklemmen dünner Drähte etwas erschwert und bei öfterem Gebrauche derselben läuft man Gefahr, die Enden dieser Drähte abzuquetschen. Da nun aber die Einschaltungsdrähte nicht gar zu dick seyn dürfen und immer dieselbe Länge behalten sollen, so thut man wohl, die Enden der Drähte in etwa 2,5 Millimeter dicke Hülsen von Kupfer oder Messing einzulöthen (Fig. 93), die man dann bequem in die Löcher der Schraubklemmen festschrauben kann.

Fig. 93.

Nörrenberg wendet zur metallischen Verbindung von Drahtstücken Drahtfedern an, wie sie in Fig. 94 und Fig. 95 dargestellt sind. Diese

Fig. 94.

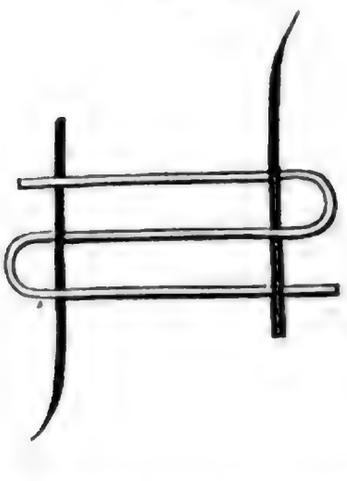
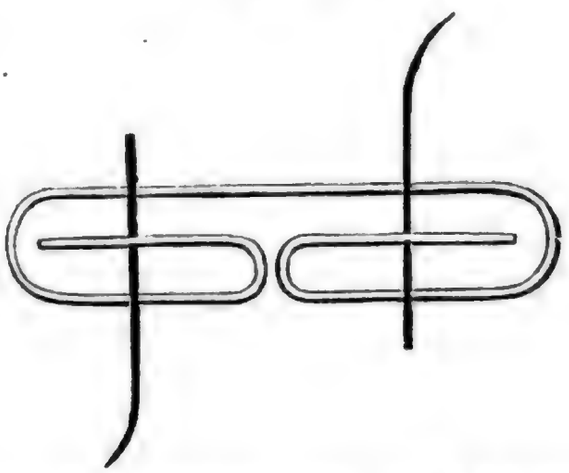


Fig. 95.



Drahtfedern sind namentlich deshalb zu empfehlen, weil die Verbindung

und die Trennung mittelſt derſelben ſehr leicht und ſchnell vollzogen werden kann.

Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man zur Einſchaltung verſchieden langer Drahtſtücke mit Vortheil auch einen Rheoſtaten anwenden kann.

Bezeichnen wir mit E die elektromotoriſche Kraft der galvaniſchen Kette, mit R den weſentlichen Leitungswiderſtand, ſo iſt nach dem Ohmiſchen Geſetz die Stromſtärke

$$s = \frac{E}{R} \quad \ldots\ldots 1)$$

bei vollkommen metalliſcher Schließung, d. h. bei ſolcher, deren Leitungswiderſtand gegen den des Elements vernachläſſigt werden kann. Schaltet man die reducirte Drahtlänge l ein, ſo wird nur die Stromſtärke

$$s' = \frac{E}{R + l} \quad \ldots\ldots 2).$$

Hier iſt s, s' durch die Beobachtung gegeben, außerdem iſt noch l bekannt, man kann alſo aus dieſen beiden Gleichungen E eliminiren und den Werth von R berechnen. Die folgenden Tabellen geben eine Reihe von Beobachtungen, welche zur Ermittelung des Leitungswiderſtandes verſchiedener Ketten angeſtellt wurden:

Bunſen'ſche Kette von Deleul.

	Einſchaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromſtärke.	R	E
	Meter					
1	0	33° 30′	0,7133	49,931	16,8	883
	68,7	8°	0,1405	9,835		
2	0	24° 52′	0,463	32,41	27,16	880
	7,2	20° 7′	0,366	25,62		
3	0	24° 52′	0,463	32,41	26,10	847
	50,7	9°	0,158	11,06		
					Mittel	855
4	0	57	1,54	107,8	7,44	802
	7,2	38	0,781	54,67		
5	0	57	1,54	107,8	7,72	832
	29,2	17,8	0,321	22,47		
6	0	57	1,54	107,8	7,74	834
	49	11,8	0,21	14,7		
					Mittel	823
			Mittel aus allen 6 Beobachtungen			839

Bunsen'sche Kette von Stöhrer.

	Einschaltung	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	0	61	1,804	121,24	6,2	783
	68,7	8,5	0,149	10,43		
2	0	31,5	0,613	42,91	18	772
	68,7	7,25	0,127	8,86		
					Mittel	777

Grove'sche Kette.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	0	30,8	0,596	41,7	19,4	809
	7,2	23,5	0,435	30,4		
2	0	30,8	0,596	41,7	20,4	851
	29,2	13,7	0,245	17,1		
3	0	30,8	0,596	41,7	19,8	828
	49	9,7	0,171	12,0		
					Mittel	829

Daniell'sche Kette.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	0	32	0,625	43,75	11,1	486
	68,7	5,45	0,101	7,07		
2	0	16,8	0,302	21,14	21,5	454
	7,2	12,75	0,266	15,82		
					Mittel	470

Smee'sches Element.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	0	26°	0,488	34,16	5,3	181
	7,2	12,25	0,217	15,19		
2	0	26	0,488	34,16	7	239
	29,2	5,25	0,092	15,19		
					Mittel	210

Wollastone'sches Element.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	0	23,6	0,437	30,58	6,3	193
	7,2	11,6	0,205	14,17		
2	0	23,6	0,437	30,58	7,3	223
	29,2	5	0,087	6,12		
					Mittel	208

In der letzten Verticalreihe stehen die berechneten Werthe der elektromotorischen Kraft, welche später besprochen werden soll. Zu den einzelnen Versuchen, deren Ergebnisse in der Tabelle aufgenommen sind, müssen noch einige Erläuterungen beigefügt werden.

Die unter der Aufschrift Einschaltung angegebenen Zahlen geben gleich die reducirte Länge der eingeschalteten Drahtstücke an.

Die Schwefelsäure, welche bei dem ersten Versuch mit der von Deleuil verfertigten Zinkkohlenkette angewandt wurde, war ungefähr mit der 10fachen Wassermenge verdünnt; bei den Versuchen 2 und 3 war schon gebrauchte und noch weit mehr verdünnte Schwefelsäure in Anwendung gebracht worden. Die Salpetersäure hatte ein specifisches Gewicht 1,18.

Bei den drei letzten Versuchen war die Schwefelsäure mit der 5fachen Wassermenge verdünnt, die Salpetersäure hatte ein specifisches Gewicht von 1,36.

Bei den Versuchen mit der von Stöhrer construirten Zinkkohlenkette wurde die gleiche Säure gebraucht, wie bei dem ersten Versuche mit der Deleuil'schen; der bedeutende Unterschied im Widerstande des Elements in beiden Versuchen liegt also hier nicht in der Natur der Säure, sondern

er ist durch die porösen Zellen veranlaßt. Bei dem zweiten Versuch mit der Stöhrer'schen Kette wurden nämlich nicht seine eigenen, ausgezeichnet guten, aber leider sehr zerbrechlichen Zellen angewandt, sondern irdene Zellen, welche ein hiesiger Hafner gemacht hatte. Durch die Anwendung dieser rothen irdenen Zellen wurde der Widerstand des Elements auf das dreifache gesteigert, woraus man ersieht, welchen bedeutenderen Einfluß die Thonzellen auf den Leitungswiderstand des Elementes und also auch auf die Stromstärke haben.

Bei der Daniell'schen Kette wurden ebenfalls die rothen Thonzellen in Anwendung gebracht, bei dem ersten Versuch stand das Zink in einer Mischung von 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser; bei dem letzten Versuche wurde schon gebrauchte und noch mehr verdünnte Säure angewandt.

Damit die Tangentenbussole einen sicheren Stand hat, war dieselbe auf ein dickes eichenes Brett gestellt worden, welches in einer Fensternische auf beiden Seiten eingemauert ist, so daß das Gehen in der Stube keine Erschütterungen der Nadel hervorbringt. Von der Tangentenbussole gehen dicke kupferne Leitungsdrähte an der Wand her, an welcher sie ein für allemal befestigt sind, über eine Thüre zu dem Tisch, auf welchem die Kette steht.

Der Widerstand dieser ganzen Drahtleitung sammt der Tangentenbussole ist gleich 1,75; d. h. er ist gleich dem Widerstand eines 1^{mm} dicken und 1,75 Meter langen Kupferdrahtes. Dieser Widerstand ist bei den in obiger Tabelle mitgetheilten Werthen von R dem wesentlichen Widerstand des Elementes noch beigerechnet, die wahren Werthe von R sind also stets um 1,75 kleiner; wir erhalten also

für die Deleuil'sche Kette

1) $R = 15{,}05$ (10 Wasser, 1 Schwefelsäure)
2) $R = 24{,}88$ (gebrauchte und noch mehr verdünnte Säure)
3) $R = 5{,}85$ (5 Wasser, 1 Schwefelsäure);

für die Stöhrer'sche Kette

1) $R = 4{,}45$ (weiße Zellen) } 10 Wasser
2) $R = 16{,}25$ (rothe Zellen) } + 1 Schwefelsäure;

für die Daniell'sche Kette

1) $R = 9{,}35$ (10 Wasser, 1 Schwefelsäure)
2) $R = 19{,}75$ (gebrauchte und noch mehr verdünnte Schwefelsäure.

Der Widerstand des Elementes hängt von der Natur der Flüssigkeiten und von der Größe der Plattenpaare ab; um also die Leitungsfähigkeit verschiedener galvanischer Combinationen gehörig vergleichen zu können, muß man den Widerstand auf gleiche Größe der Plattenpaare reduciren,

man muß also die Oberfläche der Plattenpaare der Elemente kennen, mit welchen man den Versuch angestellt hat.

Die oben besprochenen galvanischen Elemente haben folgende Dimensionen.

Deleuil'sches Element.

	Durchmesser	Höhe	Flächeninhalt
Zink	3,7 cent.	10 cent.	1,16 □dm
Kohle	5,5	9,5	1,61
			Mittel 1,38.

Stöhrer'sches Element.

Zink	5	12	1,88
Kohle	7	15	3,40
			Mittel 2,64.

Daniell'sches Element.

Zink	15	21	9,76
Kupfer	10	22	6,81
			Mittel 8,34.

Als Höhe der Cylinder ist hier die Höhe des in der Flüssigkeit stehenden Theiles derselben angegeben. — Bei den Stöhrer'schen Kohlencylindern ist auch der Boden bis auf ein Loch in der Mitte geschlossen, die innere Oberfläche des Bodenstücks mußte demnach der Oberfläche des Kohlencylinders beigezählt werden.

Um die Oberflächen verschiedener Elemente bequemer vergleichen zu können, ist das Mittel aus dem positiven und negativen Cylinder ermittelt worden, wir wollen es die mittlere Oberfläche des Elementes nennen. Auf 1 Quadratdecimeter mittlerer Oberfläche reducirt, ergeben sich folgende Widerstände.

a) Deleuil'sches Element 21
b) Stöhrer'sches Element 12
c) Stöhrer'sches Element 43
d) Daniell'sches Element 78
e) Wollaston'sches Element. . . . . 13,6.

Bei gleicher Oberfläche würden sich also die Widerstände der Elemente wie die hier mitgetheilten Zahlen verhalten.

Der Werth 21 des Widerstandes des Deleuil'schen Elementes für 1 □dm mittlere Oberflächen bezieht sich auf den Fall, daß der Zinkcylinder in einer Mischung von 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser steht.

Die für das Stöhrer'sche Element angegebenen Zahlen beziehen sich auf dieselbe Flüssigkeit, und zwar die unter b) angegebene Zahl für Leip-

ziger, die unter c) angegebene Zahl für rothe Thonzellen. Der Widerſtand der Daniell'ſchen Kette gilt für denſelben Verdünnungsgrad der Schwefelſäure und für rothe Zellen.

Wenn bei gleicher Oberfläche und gleicher Flüſſigkeit der Widerſtand des Deleuil'ſchen Elementes (a) ſich zu dem des Stöhrer'ſchen (b) verhält wie 21 : 12, ſo liegt dieſe Verſchiedenheit lediglich in der Ungleichheit der Thonzellen.

Durch Anwendung rother Thonzellen (c) ſtatt der weißen (b), wird der Leitungswiderſtand des Elements im Verhältniß von 12 : 43 vermehrt, er wird 3,6mal größer. Es läßt ſich alſo erwarten, daß durch Anwendung von Leipziger Thonzellen der Widerſtand der Zinkkupferkette 3,6mal geringer wird als bei Anwendung der irdenen Zellen, daß er alſo für 1 Quadratdecimeter der mittleren Oberfläche $\frac{78}{3,6} = 21,6$.

Das Wollaſton'ſche Element war in eine Flüſſigkeit getaucht, welche 1 Theil Schwefelſäure auf 20 Theilen Waſſer enthielt. Als 1 Quadratdecimeter Zink eingetaucht war, ergab ſich der Widerſtand (Tabelle S. 257), im Mittel gleich 6,8. Da aber jede Zinkſeite wirkſam iſt, ſo iſt alſo 6,8 der Widerſtand für eine wirkſame Zinkoberfläche von 2 Quadratdecimetern; für 1 Quadratdecimeter iſt alſo der Widerſtand 13,6; für ſtärkere Säure würde natürlich der Widerſtand bedeutend abnehmen.

110 **Elektromotoriſche Kraft.** Mittelſt der beiden Gleichungen 1 und 2 auf Seite 255 kann man ſowohl den Widerſtand R des Elementes als auch die elektromotoriſche Kraft E berechnen. Für die oben bereits mitgetheilten Meſſungen ergeben ſich die Werthe der elektromotoriſchen Kraft der Zinkkohlenkette von Stöhrer und Deleuil, und für die Zinkkupferkette, wie ſie in der Tabelle auf Seite 256 unter E bereits mitgetheilt worden ſind, nämlich:

für die Zinkkohlenkette von Deleuil

883
880
847

Mittel 855

für die Zinkkohlenkette von Stöhrer

783
772

Mittel 777

für die Zinkkupferkette

486
454

Mittel 470.

Die Werthe für die elektromotorische Kraft einer und derselben Kette ergeben sich sehr nahe gleich, wie auch die Natur der Flüssigkeit und mit ihr der Leitungswiderstand sich ändern mag. Ja die elektromotorische Kraft der Stöhrer'schen Zinkkohlenkette ergiebt sich nur um 0,1 verschieden von der von Deleuil construirten. Dieser Umstand ist bereits oben, Seite 229, näher besprochen worden.

Es ist jetzt noch zu erläutern, was man unter diesen Zahlen zu verstehen hat; die elektromotorische Kraft ist diejenige Kraft, welche den Strom in Bewegung setzt. Diese Kraft können wir natürlich, wie auch die Stromstärke, nur durch ihre Wirkungen messen.

Die elektromotorische Kraft der Volta'schen Säule ist der elektrischen Spannung der Pole bei geöffnetem Schließungsbogen proportional, man könnte also diese Spannung als Maaß der elektromotorischen Kraft in Anwendung bringen, wenn die Messung dieser elektrischen Spannung an den Polen nicht so sehr gering wäre, daß sie bei Säulen von wenigen Plattenpaaren oder Elementen nicht mehr mit einiger Genauigkeit ermittelt werden kann. — Das Ohm'sche Gesetz lehrt uns aber, daß auch die Stromstärke der geschlossenen Kette der elektromotorischen Kraft proportional ist, und da man die Stromstärke mit großer Genauigkeit messen und auf bestimmte Einheiten reduciren kann, so ist es zweckmäßiger, die Stromstärke zum Maaß der elektromotorischen Kraft zu machen. Wir haben

$$S = \frac{E}{W},$$

wo W den Gesammtwiderstand bezeichnet, welchen der Strom zu überwinden hat. Für den Fall daß $W = 1$ ist, haben wir

$$S = E.$$

E ist also die Stromstärke, welche die Kette geben würde, wenn der Leitungswiderstand $= 1$ wäre. Bei Zugrundelegung unserer Einheiten für Stromstärke und Widerstand bezeichnen also die Werthe für die elektromotorische Kraft, also die Zahlenwerthe für E, die Quantität Knallgas, welche der Strom einer Kette geben würde, wenn der Gesammtwiderstand gleich würde dem Widerstand eines 1 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes; wenn wir also gefunden haben, daß die elektromotorische Kraft der Daniel'schen Zinkkupferkette 470 ist, so heißt das, daß der Strom der Daniell'schen Kette in jeder Minute 470 Cubikcentimeter Knallgas liefern würde, wenn die Summe aller Widerstände der bezeichneten Einheit des Widerstandes gleich wäre.

Ich halte es für einen großen Vorzug der schon oben empfohlenen chemischen Einheit der Stromstärke (= demjenigen Strom, welcher in der

Minute ein Cubikcentimeter Knallgas liefert), daß bei Zugrundelegung derselben die Werthe der elektromotorischen Kraft nicht bloß Verhältnißzahlen sind, sondern daß jede für sich allein eine ganz bestimmte und eben so leicht verständliche Bedeutung hat.

Obgleich Jakobi meines Wissens zuerst versucht hat, die Angaben der magnetischen Rheometer auf chemischen Effect zu reduciren, so hat er diese chemische Einheit der Stromstärke doch nicht weiter benutzt, namentlich hat er sie bei Berechnung der elektromotorischen Kraft nicht in Anwendung gebracht.

111 **Die elektromotorische Kraft ist der Spannung der offenen Kette proportional.** Es wurde bereits im vorigen Paragraphen die Behauptung ausgesprochen, daß man die elektrische Spannung an den Polen der offenen Kette als ein Maaß für die elektromotorische Kraft betrachten könne. Die Richtigkeit dieser Behauptung ist gewiß von den meisten Physikern stillschweigend angenommen worden, obgleich eine directe experimentelle Bestätigung wegen der Unvollkommenheit der Meßwerkzeuge nicht versucht werden konnte. — Kohlrausch hat nun diese Lücke ausgefüllt. Er hat, wie bereits auf Seite 29 bemerkt wurde, das äußerst empfindliche Dellmann'sche Elektrometer in ein Meßinstrument von großer Genauigkeit umgeschaffen. Durch die Combination dieses Instrumentes mit dem Condensator (P. A. LXXV. 88.) gelang es ihm die elektroskopische Spannung an den Polen einer geöffneten einfachen Kette mit solcher Schärfe zu bestimmen, daß über die Richtigkeit des eben ausgesprochenen Satzes kein Zweifel mehr stattfinden kann.

Durch diese Untersuchung hat Kohlrausch zugleich den Beweis geliefert, daß das Dellmann'sche Elektroskop, wie es aus seinen Händen hervorging, zu den feinsten elektrischen Untersuchungen geeignet ist. Was die nähere Beschreibung des Instrumentes und seines Gebrauchs betrifft, verweisen wir den Leser auf die trefflichen, bereits citirten Abhandlungen. Die Vergleichung der elektromotorischen Kraft mit der Spannung an den Polen der offenen Kette findet sich in einem dritten Aufsatze im LXXV. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 220. Um die Resultate dieser Untersuchung verständlich machen zu können, müssen wir erst über die Art und Weise, wie aus den am Instrument gemachten Messungen Zahlenwerthe für die elektroskopische Spannung abgeleitet werden können, einiges nachholen, was oben im Paragraphen versäumt wurde.

Kohlrausch's Elektrometer kann auf zweierlei Weise als Meßinstrument gebraucht werden, nämlich:

1) Wenn man den oberen Theilkreis, den wir Torsionskreis nennen wollen, auf 90° stellt, so wird auch die bewegliche Nadel mit dem festen Metallstreifen einen Winkel von 90° bilden. Nadel und Streif werden

nun in Berührung gebracht, ihnen die zu messende Elektricität mitgetheilt, und dann die Verbindung zwischen Nadel und Streifen wieder aufgehoben. Dreht man nun den Torsionskreis auf 0 zurück, so wird die Nadel einen um so größeren Winkel mit dem Streifen bilden, je stärker die elektrische Ladung ist.

Die elektrische Ladung, welche einen Ausschlag von 10^0 hervorbringt, mit 1 bezeichnend, kann man die Stärke der elektrischen Ladung bestimmen, welche jedem einzelnen Ausschlagswinkel zukommt. Was die Details dieser Berechnung betrifft, so verweise ich auf Kohlrausch's Abhandlung im LXXII. Bande von Poggendorff's Annalen. Auf Seite 385 theilt er eine Tabelle mit, welche, natürlich nur für sein Instrument geltend, für jeden Ausschlagswinkel die entsprechende elektrische Spannung angiebt. Der Verständlichkeit halber wollen wir einen Auszug aus dieser Tabelle mittheilen:

Ausschlagswinkel.	Stärke der elektrischen Spannung.
10	1
20	1,94
30	3,06
40	4,39
50	6,10
60	8,30
70	11,40
80	18,33.

Wenn also die Ladung, welche den Ablenkungswinkel von 10^0 hervorbringt, mit 1 bezeichnet wird, so ist die elektrische Ladung, welche die Ausschlagswinkel 40^0, 60^0, 80^0 hervorbringen, gleich 4,39 — 8,30 — 18,33.

Kohlrausch's Tabelle geht von Grad zu Grad fort.

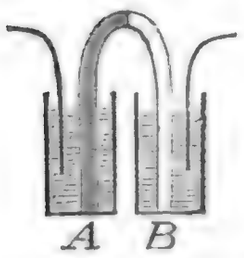
2) Man kann noch auf eine zweite Art das Instrument zum Messen elektrischer Ladungen anwenden. Nachdem nämlich bei rechtwinkliger Stellung von Nadel und Streifen, während beide in Berührung waren, Elektricität mitgetheilt worden war, und nur die Berührung wieder aufgehoben worden ist, kann man durch Drehung des Torsionskreises es dahin bringen, daß der Ausschlagswinkel stets eine und dieselbe Größe, etwa 30^0 hat. Aus bekannten Gründen ist alsdann die elektrische Ladung der Quadratwurzel auch der Torsion des Fadens proportional, welche nöthig ist, um die Nadel auf die Ablenkung von 30^0 zu erhalten.

Nach beiden Methoden bestimmt nun Kohlrausch die Spannung an

den Polen verschiedener einfacher Ketten; diese waren folgendermaßen arrangirt.

Die beiden Metalle waren zusammen gelöthet; das eine tauchte in die Flüssigkeit des Gefäßes *A* (Fig. 96), das andere in die Flüssigkeit des Gefäßes *B*; in jedes Gefäß tauchte nun noch ein Messingdraht, welcher den Pol bildet. Der eine der Messingdrähte war gut abgeleitet, der andere wurde mit der Collatorplatte des Condensators verbunden. Es wurde nach den beiden oben angeführten Methoden für jede Kette die Spannung, des positiven Pols sowohl wie die des negativen, durch mehrere Versuche bestimmt, und das Mittel aus allen genommen.

Fig. 96.



Die elektromotorische Kraft der verschiedenen galvanischen Elemente bestimmte Kohlrausch nach der Wheatstone'schen Methode, von welcher alsbald die Rede sein wird. Die folgende Tabelle enthält die Resultate seiner Messung.

Beschreibung der Kette.	Elektromotorische Kraft.	Spannung der geöffneten Kette.	
		I.	II.
1) Zink in Zinkvitriol — Platin in Salpetersäure von 1,357 spec. Gew.	28,22	28,22	28,22
2) Zink in Zinkvitriol, jedoch die Salpetersäure von 1,213 spec. Gewicht	28,43	27,71	27,75
3) Zink in Zinkvitriol — Kohle in Salpetersäure von 1,213 spec. Gewicht	26,29	26,15	26,19
4) Zink in Zinkvitriol — Kupfer in Kupfervitriol	18,83	18,88	19,06
5) a. Silber in Cyankalium — Kochsalz — Kupfer in Kupfervitriol	14,08	14,27	14,29
b. Desgl. später	13,67	13,94	13,82
c. Desgl. noch später	12,35	12,36	12,26

Die Spannung der geöffneten Kette ist nach den beiden oben angeführten Methoden bestimmt. Die Zahlen unter I. sind die nach der ersten, die unter II. die nach der zweiten Methode erhaltenen.

Weil sowohl die Wurzeln aus den Torsionen als auch die Zahlen der

Tabelle auf S. 385 im LXXII. Bande von Poggendorff, welche die den verschiedenen Ausschlagswinkeln entsprechenden Spannungen angeben, so wie endlich die Zahlen, welche die elektromotorische Kraft ausdrücken, alle nach verschiedenen Einheiten gemessen sind, hat Kohlrausch, um die Zahlenresultate vergleichbarer zu machen, die Wurzeln aus den Torsionen sämmtlich mit 1,0239, die durch den Ausschlagswinkel bestimmten Werthe mit 1,8136 multiplicirt, wodurch bewirkt wird, daß die Resultate beim ersten Versuch ganz gleich bleiben. Da nun aber auch die übrigen entsprechenden Zahlen sehr nahe übereinstimmen, so ist durch diese Versuchsreihe experimentell bewiesen, daß die elektromotorische Kraft der elektroskopischen Spannung an den Polen der geöffneten Kette proportional ist.

Es ließe sich dieser Satz wohl auch mit weniger empfindlichen Elektrometern nachweisen, wenn man die Spannung an den Polen nicht eines einzelnen Elementes, sondern einer Säule von 30, 40 und noch mehr Elementen bestimmte.

Kohlrausch's Instrument wäre gewiß auch sehr geeignet, eine theoretische Streitfrage zu lösen, dem bereits Oben Erwähnung geschehen ist. Wenn man in ein Gefäß mit Wasser einen Zinkstreifen und einen Platinstreifen eintaucht, ohne daß sich dieselben berühren, so müßte, nach Schönbein's Ansicht, wie sie auf S. 238 entwickelt und in Fig. 89 versinnlicht ist, das obere Ende des Zinkstreifens freie negative, das obere Ende des Platinstreifens freie positive Elektricität zeigen, während es nach den Grundsätzen der Contacttheorie umgekehrt sein muß. — Es wäre zu wünschen, daß Kohlrausch selbst dies untersuchte, weil er nicht allein ein vorzügliches Instrument der Art besitzt, sondern auch eine große Geschicklichkeit in der Handhabung des Apparats erlangt hat.

Indirecte Methoden zur Bestimmung der Constanten der Kette. 112 Das in dem Obigen durchgeführte, aus den Formeln 1 und 2 sich ergebende Verfahren, um Widerstand und elektromotorische Kraft einer galvanischen Kette zu ermitteln, diese Methode, zur Bestimmung der Constanten, welche wir die Ohm'sche nennen wollen, ist ebenso einfach als genau, wenn man nur mit zweckmäßigen Meßapparaten versehen ist und genügend constante Ketten anwendet. Beides aber fehlte in den ersten Zeiten nach der Publikation des Ohm'schen Gesetzes, und so kam es denn, daß man complicirtere Methoden anwenden mußte, um nur einigermaaßen übereinstimmende Resultate zu erhalten. Erst nach und nach gelang es, zum Einfachen zurückzukehren, eine Erscheinung, der wir in der Geschichte der Physik sehr oft begegnen.

Zunächst fehlte es an einem zur Messung der Stromstärke geeigneten Instrumente, denn die Multiplicatoren, welche man in Anwendung brachte,

litten an zwei Uebelſtänden; zunächſt waren ſie nur für ſchwache Ströme brauchbar, dann aber beſteht kein einfaches Geſetz zwiſchen dem Ablenkungswinkel und der Stromſtärke.

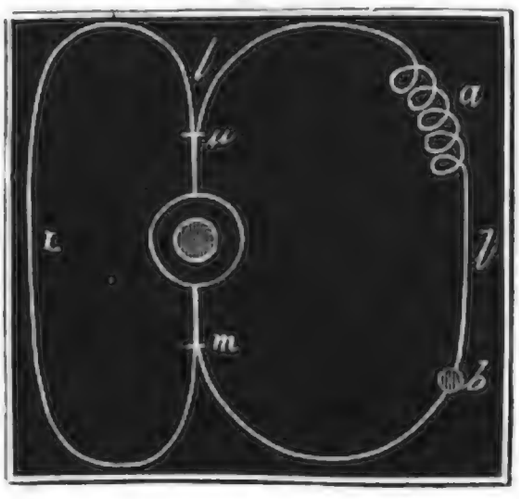
Mehrere Gelehrte haben freilich zum Theil ſehr ſinnreiche Methoden angegeben, ein Galvanometer zu graduiren, d. h. um auf empiriſchem Wege zu ermitteln, wie ſich die verſchiedenen Ablenkungsgrade zu den Stromſtärken verhalten, da ſie jedoch zur allgemeinen Anwendung nicht ſehr geeignet ſcheinen und nur in den Händen geſchickter Phyſiker brauchbare Reſultate liefern werden, ſo möchte es wohl Entſchuldigung finden, wenn ich hier dieſe Graduirungsmethoden nicht näher auseinanderſetze. Die Methode, welche Poggendorff angegeben hat, um das Galvanometer als Meßwerkzeug anzuwenden, finden ſich im LVI. Bande ſeiner Annalen, S. 324. In dieſem Aufſatze findet man auch eine kurze Zuſammenſtellung der von andern Phyſikern zu gleichem Zwecke angegebenen Methoden mit Angabe der Quelle, auf welche ich diejenigen verweiſen muß, welche in's Detail dieſes Gegenſtandes einzugehen beabſichtigen.

Fechner wandte zur Beſtimmung der Stromſtärke nicht die Ablenkung der Nadel, ſondern die Oscillationsdauer der Nadel um ihre Gleichgewichtslage für den Fall an, daß die Windungen des Multiplicators dieſer Gleichgewichtslage parallel ſind.

Dieſe Oscillationsmethode iſt zu mühſam, um eine allgemeinere Anwendung zu geſtatten.

So ſah man ſich denn nach Methoden zur Ermittelung der Conſtanten der Kette (elektromotoriſche Kraft und Widerſtand) um, welche die Kenntniß der Stromſtärke gar nicht erfordern. Ja man fuhr ſelbſt in dieſen Beſtrebungen noch fort, nachdem Pouillet's und Weber's Tangenbuſſole, ſowie die Sinusbuſſole ſchon bekannt waren. Es iſt in der That auffallend, daß dieſe ſo wichtigen Inſtrumente, welche ſo große Vereinfachungen im Studium der galvaniſchen Geſetze möglich machten, nur allmälig allgemeinere Verbreitung und Anerkennung fanden.

Fig. 97.



Wir wollen die zweckmäßigſten dieſer indirecten Methoden näher betrachten.

Jakobi giebt folgende Methode an (Pogg. Ann. LVIII. S. 85). Der Schließungsbogen der Kette iſt in zwei Theile geſpalten, wie es Fig. 97 angedeutet iſt. Der Leitungswiderſtand des einen Zweiges ſei L, der Widerſtand des andern Zweiges, in welchen das Rheoſtat bei a, das Galvanometer

bei b eingeschaltet ist, sey l, so ist der Leitungswiderstand, welchen diese beiden gleichzeitig eingeschalteten Schließungsbogen hervorbringen $\frac{lL}{L+l}$, folglich die gesammte Stromstärke, welche der Apparat liefert

$$S = \frac{E\,(L+l)}{\lambda\,(l+L)+lL'}$$

wenn λ den Leitungswiderstand des Elementes (sammt den Drahtleitungen zwischen m und u) bezeichnet.

Der Theil des Gesammtstroms, welcher durch das Galvanometer geht, ist

$$S' = \frac{E\,L}{\lambda\,(l\,L+)+lL}.$$

Hebt man nun die Nebenschließung auf, so wird die Stromstärke in dem andern Schließungsbogen wachsen und man muß mittelst des Rheostats noch den Widerstand x hinzufügen, um die Galvanometernadel wieder auf ihren früheren Stand zu bringen; nun hat man aber für die Stromstärke S' den Werth

$$S' = \frac{E}{\lambda+l+x}.$$

Aus diesen und der vorigen Gleichung ergiebt sich nun für λ der Werth

$$\lambda = \frac{x\,L}{l},$$

Da nun x, L und l bekannt sind, so kann man nach dieser Methode den Widerstand des Elementes ermitteln, ohne den Werth für die Stromstärke zu kennen.

Bringt eine andere Kette, deren Widerstand λ' ist, mit den Widerständen l' und x' (l' und x' bezeichnen hier die den obigen l und x entsprechenden Größen) dieselbe Ablenkung am Galvanometer hervor, so hat man

$$S' = \frac{E'}{\lambda'+l'+x'}.$$

wir haben also

$$E : E' = (\lambda+l+x) : (\lambda'+l'+x').$$

Man kann also nach dieser Methode das Verhältniß der elektromotorischen Kräfte verschiedener Volta'scher Combinationen ermitteln. Jakobi fand auf diese Weise, daß sich die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette zu der der Grove'schen verhält wie 21 zu 35.

Wheatstone giebt ein sehr schönes Verfahren an, um die elektromotorische Kraft einer Kette zu bestimmen, ohne vorher einen Werth für den Widerstand der Kette gefunden zu haben (Pogg. Ann. LVII. S. 518).

Eine Kette, deren elektromotorische Kraft E ist, giebt die Stromstärke $S = \frac{E}{R}$, wenn R die Summe aller Widerstände ist. Ist die elektromo-

toriſche Kraft einer andern Kette $n$mal ſo groß, ſo muß auch der Geſammtwiderſtand $n$mal ſo groß ſeyn, wenn dieſe zweite Kette dieſelbe Stromſtärke, alſo dieſelbe Ablenkung (etwa 45°) am Galvanometer hervorbringen ſoll, denn es iſt ja $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$.

Fügt man nun zu dem Widerſtande R noch den Widerſtand r hinzu, ſo wird die Stromſtärke abnehmen, ſie wird auf $\frac{E}{R+r}$ ſinken, die Nadel des Galvanometers wird um eine beſtimmte Anzahl von Graden (etwa um 5°) zurückgehen. Will man bei Einſchaltung der zweiten Kette den Strom um ebenſo viel ſchwächen, will man alſo die Nadel ebenfalls von 45° bis auf 40° zurückgehen machen, ſo wird man zu dem Widerſtande nR noch den Widerſtand nr hinzufügen müſſen, denn wenn $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$ ſo iſt auch $\frac{E}{R+r} = \frac{nE}{nR+nr}$. Die elektromotoriſchen Kräfte der beiden Ketten verhalten ſich alſo wie die Widerſtände, welche man den ſchon vorhandenen hinzufügen muß, um von einer beſtimmten Ablenkung (etwa 45°) ausgehend, die Nadel um gleich viel (etwa 5°) Grade zurückgehen zu machen.

Um die elektromotoriſchen Kräfte verſchiedener Ketten zu vergleichen, hat man alſo folgendes Verfahren einzuſchlagen. Man ſchaltet in den Schließungsbogen der Kette außer dem Galvanometer noch das Rheoſtat und ſo viel Draht ein, daß die Ablenkung der Nadel 45° beträgt; dann vermehrt man den Widerſtand durch Umdrehung des Rheoſtaten, bis die Ablenkung der Nadel nur noch 40° beträgt; die Anzahl der Umgänge iſt dann ein Maaß für die elektromotoriſche Kraft der Kette.

Nehmen wir z. B. an, man laſſe den Strom eines Daniell'ſchen Elementes durch den Rheoſtaten und das Galvanometer gehen, und habe ſoviel Draht eingeſchaltet, daß die Ablenkung 45° beträgt. Um die Ablenkung von 45° auf 40° herabzubringen, habe man 30 Windungen des Rheoſtaten hinzufügen müſſen.

Nun ſchalte man ein Grove'ſches Element in denſelben Schließungsbogen ein, und regulire den Geſammtwiderſtand ſo, daß die Nadel ebenfalls auf 45° ſteht. Um ſie jetzt auf 40 herunter zu bringen, müſſe man aber den Widerſtand um 50 Windungen des Rheoſtaten vermehren, dann würde ſich die elektromotoriſche Kraft der Daniell'ſchen Kette zu der der Grove'ſchen verhalten wie 30 zu 50.

Es iſt dies offenbar das einfachſte Verfahren, um das Verhältniß der elektromotoriſchen Kräfte verſchiedener Ketten zu ermitteln.

Wheatſtone wandte als Rheometer einen Multiplicator an, und mußte

deshalb einen bedeutenden Widerstand einschalten, um die Stromstärke hydroelektrischer Elemente schwach genug zu machen. Unter diesen Umständen kann natürlich auch nur ein Rheostat mit dünnem Draht angewandt werden

Obgleich nun ursprünglich diese Methode für einen Multiplicator berechnet ist, so kann man sie doch auch eben auf jedes andere Rheometer, also auch auf das Torsionsgalvanometer, die Tangentenbussole u. s. w. anwenden. Bei diesen Instrumenten aber, welche stärkere Ströme gestatten, braucht man natürlich den Strom nicht sehr zu schwächen, und kann dann auch einen Rheostaten mit dickerem Draht anwenden.

Diese Wheatstone'sche Methode giebt uns die Werthe der elektromotorischen Kraft durch die Drahtlängen gemessen, welche erforderlich sind, um den besprochenen Rückgang der Nadel zu bewirken, diese Zahlen sind also abhängig von der Individualität des Galvanometers und des Rheostaten.

Als Beispiele für seine Methode führt Wheatstone folgende Messungen an. Drei kleine Daniell'sche Ketten*) von ungleicher Größe wurden successiv in die Kette gebracht. Um die Nadel von 45° auf 40° zurückzubringen, war folgende Anzahl von Umgängen des Rheostaten erforderlich:

Kupfercylinder	1½ Zoll hoch	2″ Durchm.	. . .	30 Umgänge
»	3½ »	» 2½″ »	. . . .	30 »
»	6 »	» 3½″ »	. . . .	30 »

Die elektromotorische Kraft ist also, der Theorie gemäß, von der Größe der Plattenpaare unabhängig.

Als der Reihe nach Säulen von 1, 2, 3, 4, 5 gleichen Elementen als Elektromotoren angewandt wurden, ergaben sich folgendn Resultate:

1	Element erforderte	. . . . .	30 Umgänge
2	Elemente erforderten	. . . . .	61 »
3	»	»	91 »
4	»	»	120 »
5	»	»	150 »

Die elektromotorische Kraft der Batterie ist also, wie es auch die Theorie ausspricht, der Anzahl der Plattenpaare proportional.

Ich habe nach dieser Methode die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen, eines Grove'schen, eines Stöhrer'schen und eines Deleuil'schen Elementes bestimmt; ich wandte dabei die Tangentenbussolen und einen Rheostaten mit dickem Draht an.

---

*) Die Elemente waren etwas anders construirt als die gewöhnlichen Daniell'schen. Die poröse Thonzelle enthielt nämlich bloß flüssiges Zinkamalgam und stand so wie der sie umgebende Cylinder von Kupferblech in einer Lösung von Kupfervitriol.

Um die Nadel von 15° auf 10° zurückzubringen, waren nöthig

bei dem Daniell'schen Element . . .	9	Umgänge
» » Grove'schen » . . .	13	»
» » Stöhrer'schen » . . .	13,6	»
» » Deleuil'schen » . . .	15,1	»

Für die Deleuil'sche Kette war gleichzeitig die elektromotorische Kraft nach der chemischen Methode bestimmt worden, die Resultate dieser Bestimmungen finden sich bereits in der Tabelle auf pag. 256. Von den 6 Messungen für die Deleuil'sche Kette gehören die drei letzten hierher.

Nach diesen Bestimmungen ist es nun leicht, die Anzahl der Umgänge, welche nöthig sind, um die Nadel von 15 auf 10° zurückzubringen, auf die oben besprochene Einheit für die elektromotorische Kraft zu reduciren. Es entsprechen nämlich

15,1 Umgänge einer elektromotorischen Kraft . . .			823
also 1 Umgang » » » . . .			54,51.

Aus den durch Umdrehungen des Rheostaten ermittelten Zahlenwerthen für die elektromotorische Kraft würden sich also für dieselbe in unserer Einheit ausgedrückt folgende Werthe ergeben:

für die Daniell'sche Kette	490
» » Grove'sche »	709
» » Stöhrer'sche »	741.

Das Zink der Daniell'schen Kette stand bei der letzten Messung wieder in stärkerer Schwefelsäure, für welchen Fall die directe Messung den Werth 486 gegeben hatte. Für die Stöhrer'sche Kette wurde früher die elektromotorische Kraft etwas größer gefunden. — Die Zahlen für die Grove'schen Ketten differiren bedeutender, es ist deshalb auf dieselben kein Gewicht zu legen.

Auf dieselbe Weise, wie es hier geschehen ist, lassen sich die mittelst eines jeden Rheostaten gefundenen Werthe der elektromotorischen Kraft, welche noch mit der Individualität des Instrumentes behaftet sind, auf unsere Einheit reduciren, wenn man nur einmal den entsprechenden Factor ausgemittelt hat.

Um den Widerstand des Elementes zu bestimmen, hat Wheatstone mehrere Methoden angegeben, von denen wir hier nur die erste hervorheben wollen.

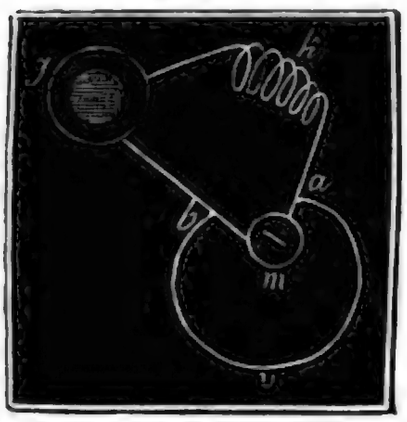
Man bringe das Galvanometer und den Rheostaten in die Kette und ajustire letztere so, daß die Nadel des ersteren auf einen bestimmten Punkt zu stehen kommt. Die Stromstärke S ist jetzt

$$S = \frac{E}{R + g},$$

wenn man mit E die elektromotorische Kraft, mit g den Leitungswiderstand

des Multiplicators, mit R den gesammten übrigen Leitungswiderstand in der Kette bezeichnet. Diese Anordnung wird durch Fig. 98 anscheinlich gemacht; g stellt das galvanische Element, k den Rheostaten, m den Multiplicator dar.

Fig. 98.



Nun zweige man den Strom, welcher durch den Galvanometer geht, durch einen Draht ab, dessen Widerstand ganz gleich ist dem Widerstande des Multiplicators, so wird nun von a aus die eine Hälfte des Stroms durch v nach b, die andere Hälfte durch den Multiplicator nach b gelangen. Der Widerstand zwischen a und b ist jetzt nur halb so groß als vorher, da nur der Multiplicator da war, die Stärke des ungetheilten Stromes ist demnach jetzt

$$\frac{E}{R + \frac{g}{2}}$$

von diesem Strome geht die Hälfte durch den Multiplicator, die Stärke des durch dies Instrument gehenden Stromes ist also jetzt nur

$$S' = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{E}{R + \tfrac{1}{2} g}.$$

Man kann aber die Nadel dadurch wieder auf ihre ursprüngliche Stellung bringen, daß man mittelst des Rheostaten den Widerstand R gehörig verkleinert. Hat man durch Umdrehen des Rheostaten den Widerstand des ungetheilten Theils der Kette von R auf $\frac{1}{2} R$ herabgebracht, so ist nun die Stromstärke

$$S'' = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{E}{\frac{R}{2} + \frac{g}{2}} = \frac{E,}{R + g'}$$

sie ist also wieder so stark wie anfänglich. Hat man also nach Einschaltung des Zweigdrahtes v eine Anzahl von n Windungen des Rheostaten aus der Kette entfernen müssen, um die ursprüngliche Ablenkung der Nadel wieder zu erhalten, so ist der gesammte Widerstand R des ungetheilten Theiles der Kette gleich den von $2\,n$ Windungen.

Der Widerstand R besteht aber aus zwei Theilen, dem wesentlichen Widerstande des Elementes und dem Widerstande der Drahtleitungen von einem Pol des Elementes bis a, und vom anderen Pole bis b. Man hat den Widerstand dieser Drahtleitungen zu ermitteln und von R abzuziehen, um den wesentlichen Widerstand des Elementes zu finden.

Diese, so wie alle übrigen indirecten Methoden zur Bestimmung des wesentlichen Widerstandes eines Elementes sind nun freilich nicht so einfach,

daß man ſie der oben beſprochenen directen Beſtimmung vorziehen möchte, wenn man über ein Inſtrument zur Meſſung der Stromſtärke zu disponiren hat.

113 **Poggendorff's Methode zur Beſtimmung der elektromotoriſchen Kraft inconſtanter Ketten.** Im LIII. Bande ſeiner Annalen S. 436 theilt Poggendorff ſeine erſten Unterſuchungen über die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette mit. Obgleich das Eiſen in der Spannungsreihe dem Zink ungleich näher ſteht als Kupfer, ſo iſt doch der Strom, welchen die Combination Zinkeiſen in verdünnter Schwefelſäure liefert, ſtärker als der Strom eines Elementes von Kupfer und Zink in derſelben Flüſſigkeit und unter ſonſt ganz gleichen Umſtänden.

Dies Reſultat ſchien auf den erſten Anblick im Widerſpruche mit der Contacttheorie zu ſeyn, und deshalb unternahm Poggendorff eine genauere Prüfung. Er beſtimmte, ſo gut es bei den veränderlichen Strömen von Ketten mit einer Flüſſigkeit möglich iſt, nach der Ohmiſchen Methode den Widerſtand und die elektromotoriſche Kraft der beiden Combinationen, und fand, daß ſich in der That die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette zu der der Zinkkupferkette verhält wie 21,5 zu 11,8.

Die elektromotoriſche Kraft der Zinkeiſenkette ergab ſich alſo wirklich größer als die der Zinkkupferkette, obgleich das Eiſen in der Spannungsreihe zwiſchen Zink und Kupfer ſteht. Poggendorff erkannte ganz richtig, daß dieſe Anomalie lediglich in der Polariſation der Platten ihre Urſache haben könne. Die elektromotoriſche Kraft, welche urſprünglich den Strom in Bewegung ſetzt, iſt zwar weſentlich durch die elektriſche Differenz der beiden ſich berührenden Metalle bedingt, allein ſobald der Strom zu circuliren beginnt, erfahren die Metallplatten eine Polariſation, welche die urſprüngliche elektromotoriſche Kraft vermindert, und dieſe Polariſation iſt bedeutender für die Combination Zinkkupfer als für die Combination Zinkeiſen.

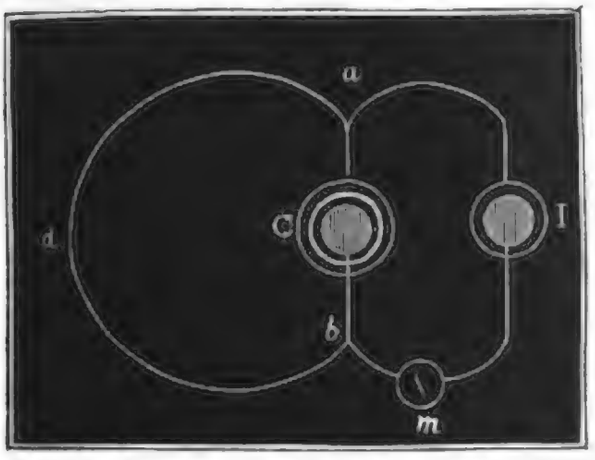
Dieſe galvaniſche Polariſation werden wir ſpäter noch ausführlicher betrachten; hier iſt nur ſo weit die Rede davon, als nöthig iſt, um den Gang der Poggendorff'ſchen Unterſuchung auseinanderzuſetzen.

Wenn alſo die nach der Ohm'ſchen Methode gefundenen Werthe für die elektromotoriſche Kraft nicht mit der Spannungsreihe harmoniren, ſo liegt, wie ſchon bemerkt wurde, der Grund davon lediglich in der Modification, welche die urſprüngliche elektromotoriſche Kraft durch die Polariſation erleidet. Poggendorff beſtrebte ſich, nur den Werth dieſer urſprünglichen noch nicht durch Polariſation modificirten elektromotoriſchen Kraft zu beſtimmen. Wir übergehen die früheren Bemühungen, durch welche dies Ziel nur unvollſtändig erreicht wurde, und wenden uns gleich zur Betrachtung einer Methode, welche Poggendorff im LIV. Bde. ſeiner Annalen Seite 161 publicirt hat.

Diese Methode unterscheidet sich wesentlich von allen anderen dadurch, daß bei ihr nicht der Strom einer Kette gemessen wird, sondern bloß die Tendenz zu demselben. — Um die Polarisation zu vermeiden, strebte Poggendorff dahin, den Strom der Kette gar nicht zur Wirksamkeit kommen zu lassen, sondern ihn von vornherein durch einen anderen zu compensiren, dessen elektromotorische Kraft constant und bekannt ist.

Die Auseinandersetzung und Begründung seiner Compensationsmethode ist bei Poggendorff etwas weitläufig, und eben deshalb auch nicht recht übersichtlich, ich bin deshalb in Folgendem von seiner Darstellungsweise abgewichen, da ich mir möglichste Verständlichkeit zur Hauptaufgabe bei Abfassung dieses Berichtes gemacht habe.

Fig. 99.



In Fig. 99 stelle C ein constantes Element, etwa ein Grove'sches und I ein anderes Volta'sches Element dar, dessen elektromotorische Kraft geringer ist als die von C. Die positiven Pole beider sind leitend verbunden, ebenso die negativen. In die Verbindung zweier gleichnamiger Pole ist ein Multiplicator m eingeschaltet; die Verbindung der beiden anderen Pole kann bei a beliebig unterbrochen und wieder hergestellt werden. Die Drahtleitung $a\,d\,b$ schließt die constante Kette C.

Nehmen wir an, das Element I sey dem C vollkommen gleich und die Verbindung bei a hergestellt, so stellt uns diese Combination nichts anders dar, als zwei Elemente, die so verbunden sind, daß sie ein einziges von doppelter Oberfläche darstellen; ist aber die elektromotorische Kraft von I schwächer als die von C, so sind die Stromwirkungen etwas complicirter.

Bezeichnen wir

mit l den Widerstand des Elementes C sammt den Drahtleitungen zwischen a und b,

mit l' den Widerstand des Elementes I sammt den Drahtleitungen zwischen a und b, also den Widerstand des Multiplicators m mit eingerechnet,

mit r den Widerstand der Drahtleitung $a\,d\,b$; bezeichnen wir ferner

mit E die elektromotorische Kraft von C,

mit E' die elektromotorische Kraft von I.

Der Strom des Elementes C theilt sich bei a und b in zwei Theile, von denen der eine durch die Drahtleitung über d, der andere durch I geht. Der Leitungswiderstand des einen Zweiges ist r, der des anderen ist l',

folglich iſt der Widerſtand beider neben einander befindlichen Zweige $\frac{l' r}{l' + r}$ und der ungetheilte Strom, welchen C liefert, iſt

$$\frac{E}{l + \frac{l' r}{l' + r}} = \frac{E (l' + r)}{l (l' + r) + l' r}$$

wenn man von der elektromotoriſchen Kraft in I abſtrahirt.

Derjenige Theil dieſes Geſammtſtromes, welcher durch I geht, iſt

$$\frac{E r}{l (l' + r) + r . l'} \quad \ldots\ldots 1)$$

Der Geſammtſtrom, welchen I liefert und welcher ſich nachher in die Zweige $a C b$ und $a d b$ ſpaltet, iſt

$$\frac{E' (l + r)}{l' (l + r) + r l} \quad \ldots\ldots 2)$$

Die beiden Ströme 1) und 2) gehen in entgegengeſetzter Richtung durch den Multiplicator. Da nun die Nenner der beiden Stromwerthe bei 1) und 2) einander gleich ſind, ſo wird offenbar der Multiplicator auf dem Nullpunkt ſtehen bleiben, wenn

$$E r = E' (l + r) \quad \ldots\ldots 3)$$

Für beſtimmte Werthe von E, E' und l wird es alſo ſtets einen Werth von r geben, für welchen der Gleichung 3) Genüge geleiſtet wird, d. h. es giebt eine beſtimmte Länge des Schließungsdrahtes $a d b$, bei welcher der Multiplicator keinen Strom anzeigt, wenn man den von a kommenden Draht mit dem einen Pol von C in Berührung bringt.

Iſt der Widerſtand r zu groß, ſo wird der Multiplicator einen Strom zu Gunſten von C anzeigen, hingegen wird im Multiplicator der Strom von C überwiegen, wenn der Widerſtand r zu klein iſt.

Hat nun der Widerſtand r im Drahte adb gerade eine ſolche Größe, daß der Multiplicator auf Null ſtehen bleibt, wenn man bei a ſchließt, daß alſo die Gleichung 3) erfüllt iſt, ſo ergiebt ſich aus dieſer Gleichung

$$E' = E \frac{r}{l + r} \quad \ldots\ldots 4)$$

man kann alſo den Werth von E', d. h. die elektromotoriſche Kraft von I berechnen, wenn man die elektromotoriſche Kraft von C, alſo E und den Werth der Widerſtände l und r kennt.

Natürlich kann man die richtige Länge des Drahtes adb nicht gleich auf den erſten Wurf treffen; vielmehr wird in der Regel, wenn man bei a ſchließt, die Multiplicatornadel nach der einen oder andern Seite abweichen, je nachdem der Draht zu lang oder zu kurz iſt. Durch ein Paar Proben, wobei man den Draht adb zweckmäßig verlängert oder verkürzt, findet man indeß leicht die Länge deſſelben, bei welcher entweder gar kein

oder doch nur ein höchst schwacher Strom im Galvanometer angedeutet wird.

Dies ist nun als eine erste Annäherung zum richtigen Verhältniß zwischen r und l zu betrachten. Man läßt nun die Kette I eine Zeit lang ungeschlossen, damit sich alle Polarisation verliere, oder noch besser, man nimmt die negative Platte aus der Flüssigkeit, reinigt sie und setzt sie dann wieder an ihre Stelle. Entsteht nun noch ein Ausschlag, wenn man bei a schließt, so regulirt man abermals die Länge des Drahtes adb, bis man das richtige Verhältniß hergestellt hat. Es ist nun der Strom, welchen die noch nicht durch Polarisation modificirte elektromotorische Kraft des Elementes I zu erzeugen strebt, compensirt, und man kann den Werth E' derselben nach Gleichung 4) berechnen.

Zunächst prüfte Poggendorff seine Methode dadurch, daß er nach ihr die elektromotorische Kraft von constanten Elementen bestimmte, die man auch auf andere Art ermitteln kann, und fand ganz übereinstimmende Resultate. Er fand nach der Ohm'schen Methode

die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Elementes = 25,886,
" " " " Daniell'schen Elementes = 15,435.

Es wurde nun das Grove'sche Element an die Stelle von C, das Daniell'sche an die Stelle von I Fig. 99. gesetzt. l war 35,03. Das fragliche Gleichgewicht fand statt als $r = 52{,}68$; für diesen Fall ist also $\frac{l + r'}{r} = 1{,}668$, mithin ergiebt sich nach dieser Methode

$$E' = \frac{25{,}886}{1{,}668} = 15{,}51,$$

was mit dem nach der Ohm'schen Methode bestimmten Werthe von E' sehr gut übereinstimmt.

Poggendorff wandte nun diese Methode zur Ermittelung der ursprünglich elektromotorischen Kraft in constanten Ketten an. Die elektromotorische Kraft der zur Vergleichung zu Grunde gelegten Grove'schen Kette war nach der Ohm'schen Methode gleich 22,88 gefunden worden, und es ergab sich für die ursprünglich elektromotorische Kraft einer inconstanten Kette aus

Zink-Kupfer . . .	13,79
Zink-Eisen . . .	7,40
Eisen-Kupfer . .	6,00

Diese Resultate beweisen, daß die ursprünglichen elektromotorischen Kräfte diesen Combinationen in der That dem Gesetz der Spannungsreihe sehr nahe genügen, denn es ist die elektromotorische Kraft für Kupfer-Eisen + der elektromotorischen Kraft für Eisen-Zink nahe gleich der elektromoto-

rischen Kraft für Kupfer-Zink, denn es ist $7{,}4 + 6 = 13{,}4$, also wirklich nahe gleich 13,79.

Wenn also der Strom der Zinkeisenkette stärker ist als der der Zinkkupferkette, wenn man nach der Ohm'schen Methode auch die elektromotorische Kraft der ersten Combination größer findet, als die der letzteren, so ist dies lediglich eine Folge, daß der Strom bei der Combination Zinkkupfer eine stärkere, der ursprünglichen elektromotorischen Kraft entgegenwirkende Polarisation erzeugt als bei der Zinkeisenkette.

114 **Vergleichung verschiedener Volta'scher Combinationen.** In den letzten Paragraphen haben wir gesehen, wie man die Constanten einer Volta'schen Combination ermitteln und in vergleichbaren Werthen ausdrücken kann. Alle Angaben über die Effecte einer Säule, wie man sie gewöhnlich angeführt findet, um die eine oder die andere Combination zu empfehlen, geben keine genügende Bestimmungen für die Leistungsfähigkeit der Apparate. Der Mangel an genauen numerischen Bestimmungen veranlaßt große Täuschungen in Beziehung auf die Vortheile und Nachtheile der verschiedenen galvanischen Combinationen. Finden wir solche Unbestimmtheiten und Täuschungen schon bei Männern der Wissenschaft, so darf es uns gar nicht wundern, in technischen Journalen Vorschläge zu finden, welche eine gänzliche Unkenntniß aller Principien beurkunden, um die es sich hier handelt.

Betrachten wir die wichtigsten galvanischen Combinationen etwas näher.

115 **Die einfache Zinkkupferkette.** Die Wollaston'sche Batterie ist eine zweckmäßige Form der einfachen Zinkkupferkette mit einer Flüssigkeit. Man findet sie in meinem Lehrbuch der Physik abgebildet und beschrieben.

Die Ketten von Young und Münch kann man als Variatäten der Wollaston'schen betrachten, und es dürfte deshalb eine weitere Beschreibung derselben unnöthig seyn.

Die einfache Zinkkupferkette gehört bekanntlich nicht zu den constanten Ketten, indem die elektromotorische Kraft durch die in Folge des Stromes auftretende Polarisation an der Kupferplatte sehr bedeutend modificirt wird. Poggendorff fand die noch nicht durch Polarisation modificirte elektromotorische Kraft der Zinkkupferkette in verdünnter Schwefelsäure gleich 13,8 (Seite 275), wenn die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette gleich 229, ist.

Nehmen wir nach chemischer Einheit die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette gleich 830 (vergleiche die Tabelle auf S. 256), so wäre nach dieser Einheit die unmodificirte elektromotorische Kraft der Zinkkupferkette gleich 500. Nach meinen Versuchen ist aber, wenn der Strom zur Entstehung gekommen ist, die elektromotorische Kraft der Zinkkupferkette nur gleich 208; durch die Polarisation wird also die elektromotorische

Kraft sehr bald auf $^2/_5$ ihres ursprünglichen Werthes herabgebracht, und dies ist nun auch die Ursache, daß gleich nach dem Eintauchen der Strom außerordentlich stark ist, aber dann sehr rasch abnimmt. Hat einmal die Polarisation ihr Maximum erreicht, so bleibt nun der Strom ziemlich constant, so wenigstens, daß man annähernd genaue Messungen machen kann. Die Zahlen, aus denen die auf S. 256 mitgetheilten Werthe der elektromotorischen Kraft und des Leitungswiderstandes der Wollaston'schen Kette berechnet wurden, sind nicht unmittelbar beobachtet, sondern das Mittel aus mehreren Ablesungen. Um einen richtigen Begriff von dem Verhalten dieser Kette zu geben, will ich die entsprechende Beobachtungsreihe ganz hersetzen:

Einschaltung.	Ablenkung.
0	26°
Kupferdraht . . .	12°
» . . .	11,5
0 . . .	24
Kupferdraht . . .	11
» . . .	11,25
0 . . .	23,5
Messingdraht . . .	5
0 . . .	24
Messingdraht . . .	5
0 . . .	22
» . . .	23
Kupferdraht . . .	11
0 . . .	23

Nach Schließung der Kette vergingen einige Minuten, bis die Nadel nach anfangs sehr lebhaften Oscillationen zur Ruhe gekommen war; selbst nachdem die Oscillationen aufgehört hatten, ging sie noch langsam zurück und erst bei 26° wurde sie ziemlich stationär. Es ist dies die erste Aufzeichnung. Nun wurde ein Kupferdraht eingeschaltet, dessen Widerstand durch frühere Versuche gleich dem von 7,2 Metern Normaldraht gefunden worden war. Die Nadel stellte sich bei 12° fest und ging nach einiger Zeit auf 11,5° zurück.

Der Kupferdraht wurde wieder aus dem Schließungsbogen herausgenommen, nun war die Ablenkung 24° u. s. w.

Der Messingdraht, welcher die Ablenkung auf 5° herabbrachte, hatte einen Leitungswiderstand gleich dem von 29,2 Metern Normaldraht.

Man sieht, daß der Strom dieses Elementes, wenn einmal die ersten Schwankungen vorüber sind, ziemlich constant bleibt, wenigstens so, daß man angenähert genaue Messungen zur Berechnung der elektromotorischen

Kraft und des Leitungswiderſtandes machen kann. Freilich wird die elektromotoriſche Kraft durch den Strom ſehr bedeutend geſchwächt, dagegen iſt auch der Leitungswiederſtand ſelbſt bei ſehr ſchwacher Säure nicht bedeutend. Wo es alſo nicht darauf ankommt, genaue Meſſungen zu machen, und wo man nicht auf längere Zeit einen beſtändigen Strom nöthig hat, alſo zu vielen galvaniſchen Verſuchen, laſſen ſich die Zinkkupferketten mit Vortheil anwenden; hat man Elemente mit großen Oberflächen nöthig, ſo iſt dann die Form der Hare'ſchen Spirale vorzuziehen.

Die Stärke der Polariſation iſt höchſt wahrſcheinlich von der Stromſtärke abhängig, doch fehlen uns darüber bis jetzt noch genauere Unterſuchungen.

Der Grund, warum die Ketten mit einer Flüſſigkeit nicht conſtant ſind, iſt in der Polariſation der negativen Platte zu ſuchen, und dieſe wird in den ſogenannten conſtanten Ketten möglichſt vermieden. Deſſen ungeachtet nimmt doch auch die Stromſtärke der conſtanten Ketten allmälig ab, wenn man ſie längere Zeit geſchloſſen läßt, weil die Flüſſigkeit ſich allmälig ändert, indem die verdünnte Schwefelſäure ſich nach und nach in eine Löſung von Zinkvitriol verwandelt. Eine entſprechende Veränderung in der Natur der Flüſſigkeit findet bei allen Ketten ohne Ausnahme ſtatt, und ſie ließe ſich nur dadurch vermeiden, daß man die Flüſſigkeit von Zeit zu Zeit erneuerte. — Durch eine Hebervorrichtung könnte man es wohl einrichten, daß die ſchwerere Zinkvitriollöſung aus dem untern Theil des Gefäßes langſam abfließt, und oben in demſelben Maaße friſche Säure zufließt.

Ein Umſtand, der bei allen Ketten ohne poröſe Scheidewand ganz beſonders nachtheilig wirkt, iſt der, daß in Folge des Stroms das Zinkſalz die Löſung zerſetzt und Zink metalliſch auf der negativen Platte abgelagert wird, wodurch dann freilich bei längerer Schließung der Kette die elektromotoriſche Kraft der Kette mehr und mehr abnehmen muß.

Die Beſtändigkeit der Stromſtärke einer Kette hängt weſentlich von der Größe dieſer Stromſtärke ab. Schwache Ströme, wie man ſie erhält, wenn man ſtark verdünnte Säure anwendet, und große Leitungswiderſtände in den Schließungsbogen einſchaltet, bleiben leicht längere Zeit conſtant, während bei Anwendung ſtärkerer Säure und geringer Leitungswiderſtände die Stromſtärke nothwendig weit raſcher abnehmen muß. Will man daher verſchiedene Ketten in Beziehung auf ihre Beſtändigkeit vergleichen, ſo muß man gleiche Widerſtände und gleiche Säure anwenden; die Nichtberückſichtigung dieſes Umſtandes mag wohl ſchon zu mannigfachen Täuſchungen über die Beſtändigkeit einzelner Ketten Veranlaſſung gegeben haben.

So führt man Ketten als ſehr conſtant an, welche aus Zink und Kup-

ferplatten bestehen, die in den feuchten Erdboden eingegraben sind. Solche Ketten können natürlich nur sehr schwache Ströme geben, weil der Leitungswiderstand zwischen den Platten sehr groß ist, es ist also wohl begreiflich, daß der Strom dieser Ketten länger constant bleibt, als wenn man die Platte in Säure eintaucht.

Fürst Bagration stellte Platten in Gefäße, die mit Sand gefüllt sind, welcher mit einer Salmiaklösung mäßig befeuchtet wird. Garnier wendet solche Ketten mit Erfolg an, um elektromotorische Uhren damit im Gang zu halten (Dingler's pol. Journ. 110. Bd. S. 177.); hier reicht nämlich eine sehr geringe Stromstärke hin, um den kleinen Elektromagneten einen hinlänglichen starken Magnetismus zu ertheilen.

Garnier's Apparat hatte folgende Einrichtung. Der Sand befand sich in einem Fäßchen; Zink und Kupfer hatten die Form von Cylindern, das Kupfer bildet den äußeren, das Zink den inneren. Die Oberfläche des Kupfers war 1,5, die des Zinks 1,3 Quadratdecimeter. Ein solches Element hielt den Apparat $2\frac{1}{2}$ Monat lang in Gang. Wendet man eine Batterie aus mehreren solchen Elementen an, so läßt sich die Einrichtung treffen, daß man ohne den Strom zu unterbrechen ein einzelnes Plattenpaar herausnehmen und erneuern kann.

Koppinsky (Dingler's Journal, 101 Band, pag. 222; technologiste, März 1846, Seite 241) fand die Erwartungen, die er sich von diesen Ketten gemacht hatte, nicht erfüllt. Wahrscheinlich hat er starke Ströme mit denselben hervorbringen wollen. Auch belästigten ihn die Salmiakdämpfe. Die ungünstigen Resultate sind nach seiner Ansicht der Isolirung zuzuschreiben, weil sich die Batterie nicht mit Elektricität aus dem Boden speisen kann und weil sie nicht vor dem Einfluß der Luft geschützt wird, welche also die durch die Berührung der Metalle erzeugte Elektricität neutralisiren kann.

Ich führe dies als ein Beispiel an, welchen abenteuerlichen Vorstellungen über den galvanischen Strom und die galvanische Kette man in technischen Zeitschriften noch begegnet. Die Redactionen technischer Zeitschriften sollten in der That in solchen Fällen kritischer seyn und solche Behauptungen, welche nur geeignet sind, Leute zu verwirren, die keine gründlichen physikalischen Kenntnisse haben, entweder gar nicht passiren zu lassen oder doch mit den nöthigen Erläuterungen zu begleiten.

Nachdem alle übrigen Ketten keine Gnade bei ihm gefunden haben, schlägt endlich Koppinsky vor, für galvanoplastische Arbeiten Zinkkupferelemente anzuwenden, deren Platten 1 Quadratmeter Oberfläche haben und die 2 bis 3 Millimeter weit von einander entfernt in verdünnter Schwefelsäure eingetaucht sind. — Es ist dies eine der ältesten Formen, die man großplattigen Elementen gegeben hat, und die später sehr zweck-

mäßig von Hare in die Form einer Spirale umgewandelt wurde; von dieſer Seite enthält alſo Koppinsky's Vorſchlag durchaus nichts neues. Neu, aber auch zwecklos, iſt dagegen die Vorſchrift, die Säure in Gefäßen von nicht harzigem Holze zu gießen und auf feuchten Boden zu ſetzen.

Wie ſchwach der Strom iſt, welchen in den feuchten Boden eingegrabene Metallplatten liefern, geht aus den Verſuchen von Weekes hervor (Dingler's Journal, 97. Band, Seite 194), welcher mit einer Zink- und einer Eiſenplatte, deren jede 54 Quadratdecimeter Oberfläche hatten und die in nicht ſehr feuchtem Boden eingegraben waren, einen Strom erhielt, welcher die aſtatiſche Nadel eines Multiplicators um 87° ablenkte, welche Ablenkung jedoch bald auf 61° fiel. Der Strom war alſo außerordentlich ſchwach.

Eine Säule von 36 Paaren dieſer Art gab zwiſchen Kohlenſpitzen ein Licht, welches ſtark genug war, um in ½ Meter Entfernung noch feinen Druck leſen zu können. Vergleicht man dieſen höchſt unbedeutenden Effect mit der glänzenden Lichterſcheinung, welche 36 Zinkkohlen- oder Zinkplatinelemente hervorzubringen im Stande ſind, ſo begreift man in der That kaum, wie Herr Weekes die Hoffnung hegen mag, ſolche Ketten könnten ein vortheilhaftes Beleuchtungsmittel geben.

Freilich waren die Platten des Herrn Weekes in ziemlich trockenen Boden eingeſetzt; bei feuchterem Boden werden ſie allerdings einen ſtärkeren Strom lieferen, doch nie ſo ſtark, als ob man die Platten direct in Waſſer eingetaucht hätte. Befeuchtet man den Sand mit einer Salmiakloſung, ſo wird die Stromſtärke ſich doch nie derjenigen nähern können, welche dieſelben Platten, in Salmiakloſung getaucht, zu liefern im Stande ſind. Solche eingegrabene Platten können alſo höchſtens in ſolchen Fällen angewendet werden, wo man nur ſehr ſchwacher Ströme bedarf. Solche ſchwache Ströme kann man aber auch mit andern Ketten auf längere Zeit ziemlich conſtant erhalten, wenn man nur ſehr verdünnte Säuren anwendet. Jedenfalls haben die eingegrabenen Platten den Nachtheil, daß ſie nicht ſo zugänglich ſind, wie die Platten anderer Batterien.

116 „ **Smee'ſche Kette.** Die Smee'ſche Kette wurde von vielen Seiten ſehr gerühmt; ſie ſollte ſehr ſtarke Ströme liefern und auch bedeutend mehr conſtant ſeyn als andere Ketten mit einer Flüſſigkeit. Meſſungen wurden zur Unterſtützung dieſer Meinung nicht angeſtellt; ich habe ſie nicht beſtätigt gefunden.

Das Kupfer der Wollaſton'ſchen Batterie iſt bei der Smee'ſchen Kette durch Platin oder Silber erſetzt, welches mit Platinmoor überzogen iſt. Dieſen Ueberzug von Platinmoor erhält man, wenn man die wohl gereinigte Metallplatte von Platinkaliumchlorür eintaucht und mit dem negativen Pole einer nicht gar ſtarken Säule in Verbindung bringt, deren

poſitiver Pol gleichfalls in die Löſung eingetaucht iſt. Das Platin ſetzt ſich auf der negativen Polplatte ab. — Wenn die poſitive Polplatte ſelbſt von Platin iſt, ſo wird ſie durch das Chlor angegriffen und die Löſung behält ihren Sättigungsgrad.

Den beiden Flächen der platinirten Platte der Smee'ſchen Batterie ſtehen in einer Entfernung von ungefähr 1 Linie Zinkplatten gegenüber. Die Breite der Zinkplatten ſoll nur $\frac{1}{3}$ von der Breite der platinirten Platte ſeyn; was dies für einen Vortheil haben ſoll, kann ich nicht einſehen; bei dem Smee'ſchen Element, mit welchem ich Verſuche angeſtellt habe, iſt es nicht der Fall; in demſelben war die negative Platte eine platinirte Silberplatte.

Ich fand dieſes Element ungleich weniger conſtant als ein Wollaſton'ſches, die Schwankungen der Nadel waren viel bedeutender. Bei gleicher Flüſſigkeit gab das Smee'ſche Element in einer Verſuchsreihe, welche gerade ebenſo angeſtellt wurde wie die auf Seite 277 beſchriebene Verſuchsreihe, folgende Reſultate:

Einſchaltung	Ablenkung
0	30° geht raſch zurück auf
—	28
Kupferdraht	12,5
0	28,5
nach einigen Schwankungen	
0	25
Kupferdraht	12
0	25
Abgeſpült.	
0	28,5
0	26
nach vielen Schwankungen	
0	25
Meſſingdraht	5,5
—	5
0	29
0	26
0	24.

Nehmen wir im Mittel für die Einſchaltung 0, die Ablenkung 26°; bei Einſchaltung des Kupferdrahtes 12,25; des Meſſingdrahtes 5,5, ſo ergiebt ſich die elektromotoriſche Kraft des Smee'ſchen Elementes gleich **212**, alſo kaum merklich größer als die des Wollaſton'ſchen, welche, wie wir oben Seite 257 geſehen haben, 208 iſt. Bei gleicher Oberfläche ſind die Widerſtände beider Elemente ebenfalls ziemlich gleich; nach die-

sen Versuchen scheint es nicht, als ob das Smee'sche Element irgend einen Vorzug vor dem Wollaston'schen verdiene. Ob platinirtes Platin bessere Resultate liefert als platinirtes Silber, ist noch zu ermitteln.

117 **Die Zinkkupferkette mit zwei Flüssigkeiten.** Wenn das Kupfer der Zinkkupferkette in einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol, das Zink in verdünnter Schwefelsäure steht, während beide Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand getrennt sind, so ist die nachtheilige Wirkung der Polarisation größtentheils aufgehoben; die elektromotorische Kraft wird größer als bei der gewöhnlichen Zinkkupferkette, die Stromstärke wird constant.

Die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette ist (S. 257):

$$E = 470.$$

Nach Svanberg's Versuchen (P. A. LXXIII. 290.) ändert sich die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette nur wenig mit der Natur der Flüssigkeit. Während das Kupfer in einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol stehen blieb, ergaben sich für verschiedene Flüssigkeiten, in welche das Zink eingetaucht wurde, folgende Werthe für die elektromotorische Kraft des Elementes (in willkürlicher Einheit ausgedrückt).

Für concentrirte Lösung von Zinkvitriol . .	15,6
dieselbe stark verdünnt	15,9
» concentrirte Lösung von Kupfervitriol . .	16,6
dieselbe stark verdünnt	16,2
» ganz schwach gesäuertes Wasser	16,0
» stärker gesäuertes Wasser	16,7.

Für ein Quadratdecimeter mittlerer Metallfläche ist (Seite 259) der Widerstand des Elements

$R = 78$ (Säure = 1 Thl. Schwefelsäure + 10 Thl. Wasser).

Durch Anwendung einer Säure, welche 1 Theil Schwefelsäure auf 5 Theile Wasser enthält, würde man den Widerstand für die Flächeneinheit auf $R = 30$ herabbringen können. Diese Widerstände beziehen sich auf die irdenen Zellen; für Stöhrer'sche Zellen würden sich die Widerstände ungefähr auf $\frac{1}{3}$ verringern, also seyn

$R = 26$ (1 Schwefelsäure auf 10 Wasser)

$R = 10$ (1 Schwefelsäure auf 5 Wasser)

Die Daniell'sche Kette ist wohl unter allen die constanteste, was zum Theil daher rühren mag, daß die Säure weniger schnell abgenutzt wird, indem die durch Zersetzung des Kupfervitriols frei werdende Säure wenigstens theilweise durch die poröse Zelle zur Flüssigkeit übergeht, in welcher das Zink steht.

Ryhiner (Dingler's Journal, 110 Bd. Seite 418) schlägt vor,

das Zink durch Eisen zu ersetzen, welches in einer Kochsalzlösung steht. Was diese Combination für Vortheile gewähren soll, läßt sich nicht recht einsehen. Jedenfalls ist die elektromotorische Kraft derselben geringer als die einer gewöhnlichen Daniell'schen Kette.

Ryhiner sagt von seiner Kette: Sie übt zwar auf die Magnetnadel keine starke Wirkung aus, besitzt aber dessen ungeachtet eine größere reducirende Kraft auf Metalllösungen als die gewöhnliche Zinkbatterie!?

Herr Ryhiner scheint also nicht zu wissen, daß die chemischen Wirkungen des Stromes den magnetischen stets propotional sind.

Uebrigens macht Ryhiner einen Vorschlag, die Thonzellen durch Leinwandzellen zu ersetzen, welcher wohl ganz praktisch seyn kann. Hinsichtlich der Thonzellen befindet man sich in der That oft in Verlegenheit. Solche, die man vom Hafner machen läßt, sind schlecht; gute kann man nicht überall bekommen; was um so störender ist, da die besser leitenden Zellen sehr zerbrechlich sind. Ryhiner's Zellen werden in folgender Weise angefertigt:

Von dichtem leinenen etwas dickem croisirten Zeuge macht man Säcke ohne Boden, welche über eine Blechrolle gespannt werden; darauf wird mit Mehlkleister 3 bis 4fach starkes Papier, und darauf ein Stück Zitz oder dünne Leinwand geklebt. Der Boden wird durch einen platten Holzcylinder gebildet, in dessen Cylinderfläche eine Rinne eingedreht ist, so daß man den auf die angegebene Weise behandelten Leinwandcylinder mit Bindfaden festbinden kann. Die Blechrolle wird nun wieder hineingestellt und mit heißem Sande erwärmt. Wenn alles gehörig trocken ist, gießt man geschmolzenes Wachs oder Colofonium ein, um die Fugen am Boden gehörig zu schließen. Der obere Rand wird mit Bernsteinfirniß getränkt.

Ob diese Zellen wirklich empfehlenswerth sind, kann ich aus eigener Erfahrung nicht beurtheilen.

Die Grove'sche Kette. Nach meinen Messungen, welche auf Seite 256 mitgetheilt wurden, die aber gerade für die Grove'sche Kette keinen großen Anspruch auf Genauigkeit machen, ist die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette nach chemischem Maaß 118

829.

Andere Beobachter haben die elektromotorische Kraft der Grove'schen Säule nicht nach irgend einem absoluten Maaße bestimmt, sondern nur mit der elektromotorischen Kraft der Daniell'schen Kette verglichen. Setzt man die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette gleich 1, so ist die der Grove'schen:

Nach Jakobi	1,666
» Buff	1,712
» Poggendorff. .	1,668
» id. . .	1,565
Mittel . .	1,653.

Nehmen wir nach meinen Messungen die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette nach chemischem Maaß gleich 470, so wäre also nach derselben Einheit die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette im Mittel

$$470 \cdot 1{,}653 = 777,$$

während ich den Werth für die elektromotorische Kraft dieser Kette etwas höher, nämlich gleich 829, also ungefähr $6\frac{1}{2}$ Procent größer gefunden habe.

Einen Vergleich des Leitungswiderstandes der Grove'schen Kette mit dem der Daniell'schen findet sich bei den oben genannten Beobachtern nicht. — Eine solche Vergleichung kann sich übrigens auch nur auf ein bestimmtes Exemplar beziehen, da sie mit der Natur der Thonzellen sich ändert, und von dem Concentrationsgrad der Flüssigkeit abhängt.

Eine Vergleichung der Widerstände beider Ketten hat nur dann einen Sinn, wenn man für beide Thonzellen von derselben Masse und gleiche Flüssigkeit für die Zinkzelle anwendet, während die Kupferzelle der Daniell'schen Kette concentrirte Kupfervitriollösung enthält und die Platinplatte der Grove'schen in starker Salpetersäure steht. Eine solche Vergleichung habe ich für die Grove'sche Kette nicht gemacht, wohl aber für die Zinkkohlenkette, deren Widerstand man unter sonst gleichen Umständen wohl dem der Grove'schen gleichsetzen kann. Wir werden also bei der Zinkkohlenkette auf die Widerstandsvergleichung zurückkommen.

Es ist der Vorschlag gemacht worden, die Salpetersäure durch andere sehr stark sauerstoffhaltige Körper, namentlich durch eine Lösung von saurem chromsauren Kali zu ersetzen. Für diese Flüssigkeit fand Poggendorff die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette gleich

0,987,

wenn man die der Daniell'schen Kette gleich 1 setzt, also bedeutend geringer als für Salpetersäure. Saures chromsaures Kali ist also für die Grove'sche Kette nicht zu empfehlen. —

Im 106ten Bande von Dingler's polytechnischem Journal, Seite 154, wird mitgetheilt, daß an Grove'schen Ketten, die man bei elektrischen Telegraphen anwandte, der Uebelstand oft störend auftritt, daß die Salpetersäure durch die Thonzellen hindurchsickert, und das Zink so

stark angreift, daß man es täglich frisch amalgamiren muß. Krystalle von Glaubersalz in die verdünnte Schwefelsäure geworfen, sollen diesem Uebelstande abhelfen. Der Erfolg dieses Mittels sey höchst wahrscheinlich dadurch zu erklären, daß Glaubersalz zersetzt und salpetersaures Natron gebildet werde, wodurch aber die freie Salpetersäure wieder verschwindet.

Die Bunsen'sche Kette. Als Mittel aus allen meinen oben 119
Seite 256 mitgetheilten Versuchen ergiebt sich für die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette nach chemischem Maaße der Werth

824.

Die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette:

nach Buff. 1,712,
nach Poggendorff. . 1,548.

In chemischem Maaße ausgedrückt, wäre also die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette:

nach Buff 805,

was mit meinem Mittel sehr nahe übereinstimmt,

nach Poggendorff . . 727,

welche Zahl wohl doch zu klein seyn dürfte. Jedenfalls ist die elektromotorische Kraft der Bunsen'schen und der Grove'schen Kette so nahe gleich, daß man bei praktischen Anwendungen von dem etwaigen Unterschied absehen darf.

Nach Poggendorff bleibt die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette fast dieselbe, wenn man die Salpetersäure durch eine Lösung von saurem chromsaurem Kali ersetzt, ja für letztere Flüssigkeit ist sie sogar noch etwas größer und zwar im Verhältniß von 1,589 zu 1,548.

Nach den auf Seite 259 gemachten Mittheilungen verhält sich bei gleicher mittlerer Oberfläche, gleichen Thonzellen und gleich stark verdünnter Schwefelsäure der Leitungswiderstand der Zinkkohlenkette zu dem der Daniell'schen wie

43 zu 78,

oder wie

1 zu 1,8.

Stöhrer in Leipzig hat in neuerer Zeit die Zinkkohlenkette bedeutend verbessert und im Gebrauch bequemer gemacht. Seine Kohlencylinder sind statt in Zuckerwasser in Steinkohlentheer getränkt und dann nochmals geglüht. Sie sind viel fester und haben eine ungleich glättere Oberfläche als die früheren, was den großen Vortheil hat, daß sie nicht so außerordentlich viel Salpetersäure einschlucken, wodurch die Anwendung der Zinkkohlenketten besonders unangenehm und kostspielig wurde.

Bei den früheren Zinkkohlenketten war der Kupfer- oder Zinkring,

welcher den oberen Rand des Kohlencylinders umfaßte, meist abnehmbar. Stöhrer hat ihn ein- für allemal befestigt. Um den Rand des Kohlencylinders wird zunächst ein Streifen von Messingdrahtgewebe gelegt und auf dieses dann der Kupferring möglichst fest aufgeschraubt. Der ganze obere Theil wird alsdann mit Siegellacklösung überstrichen. An dem Kupferring befindet sich ein ungefähr 1 Zoll langes Drahtstück, welches zur Herstellung der Verbindung mit dem nächsten Zinkcylinder geht. An den Zinkcylinder ist eine Art Drahtseil befestigt, welches mit Gutta-Percha überzogen ist und mit einer Schraubklemme endigt, welche an den Kupferdraht des folgenden Kohlencylinders angeschraubt werden kann.

120 **Zinkeisenketten.** Von vielen Seiten ist vorgeschlagen worden, das Eisen anstatt des Platins oder Kupfers zur Construction galvanischer Ketten anzuwenden. Roberts construirte eine Zinkeisenkette in folgender Weise. Ein gußeisernes Gefäß von 10 Zoll Höhe und 3,9 Zoll Durchmesser diente zur Aufnahme einer Mischung von 1 Theil concentrirter Schwefelsäure und 3 Theilen starker Salpetersäure; in diese Flüssigkeit wurde dann eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle gestellt, die zur Aufnahme des 9,9 Zoll hohen und 3,3 Zoll weiten Zinkcylinders diente.

Fünf solcher Elemente lieferten in einer Minute in einem in den Schließungsbogen eingeschalteten Voltameter 40 Kubikzoll Knallgas. Allerdings ist dies eine sehr bedeutende Wirkung. (Dingler's Journal, 84ster Band, Seite 386.)

Im 84sten Bande von Dingler's Journal, Seite 385, beschreibt Schönbein eine Zinkeisensäule, welche ebenfalls sehr bedeutende Wirkungen hervorbrachte.

Zum Sprengen von Felsen schlägt Roberts eine Zinkeisenkette mit einer Flüssigkeit vor. (Dingler's Journal, 87ster Band, Seite 104; Mechanic Magazine, 1842.) 20 Eisenplatten und 20 Zinkplatten, jede von 7 Quadratzoll Oberfläche, sind, in gehöriger Weise verbunden, auf einem Gestell von Latten angebracht, welches man in einen Trog senken kann, welcher eine Mischung von 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser enthält.

Callan construirte eine Zinkeisenkette (Dingler's Journal, 109ter Band, Seite 432. Phil. Mag., Juli 1848, Seite 49.) von ähnlicher Form, wie die war, welche Grove ursprünglich seiner Zinkplatinkette gegeben hatte; also mit rectangulären, glatten Thonzellen. Die Zellen waren $4\frac{1}{2}$ Zoll lang und $4\frac{1}{2}$ Zoll hoch.

Durch den Schlag einer aus 620 solchen Elementen zusammengesetzten Säule wurde ein Truthahn augenblicklich getödtet. — Sein Kropf war geborsten.

Callan sagt, diese Batterie wirke 15mal stärker als eine gleich große Wollaston'sche und 1½mal so stark als eine gleich große Grove'sche. Diese Schätzung scheint höchst oberflächlich zu seyn; es sind durchaus keine Thatsachen, keine Messungen angegeben, aus denen man auch nur annähernd die Constanten dieser Ketten berechnen könnte, ohne deren Kenntniß eine richtige Würdigung einer galvanischen Combination nicht möglich ist.

Maaßbestimmungen für die Zinkeisenkette finden sich im 81sten Bande von Dingler's Journal, Seite 273.

Poggendorff fand für die elektromotorische Kraft verschiedener Combinationen folgende Werthe:

Zink-Platin . . .	100
Zink-Eisen . . .	78,6
Zink-Stahl . . .	87,0
Zink-Gußeisen . .	89,6,

wenn Zink in verdünnter Schwefelsäure, Platin, Eisen u. s. w. in concentrirter Salpetersäure steht. Die Leitungswiderstände sind bei allen diesen Combinationen ziemlich gleich.

Die Eisen-Eisenketten. Daß man das Platin der Grove'schen 121
Ketten mit Erfolg durch Eisen ersetzen kann, hängt ohne Zweifel damit zusammen, daß Eisen, in concentrirte Salpetersäure getaucht, passiv wird und sich in diesem Zustande wie ein sehr elektronegatives Metall verhält. — Wöhler und Weber kamen dadurch auf den Gedanken, daß sich Eisen, welches in concentrirter Salpetersäure steht, zu Eisen, welches in verdünnter Schwefelsäure getaucht ist, ähnlich verhält wie Platin zum Zink. Der Erfolg bestätigte diese Erwartung vollständig; sie construirten auf diese Weise eine sehr kräftige Säule.

Es ergab sich als sehr vortheilhaft, für das in verdünnte Schwefelsäure eingetauchte Eisen gewöhnliches Weißblech zu nehmen.

Auch Schönbein wurde durch seine Untersuchungen über Passivität des Eisens auf die Construction einer Kette aus passivem und activem Eisen geleitet. (Dingler's Journal, 84ster Band, Seite 385.)

Die zweckmäßigste Form der Eisensäule ist wohl folgende. Ein gußeisernes Gefäß nimmt die Salpetersäure und die Thonzelle auf, in welcher sich dann die verdünnte Schwefelsäure mit dem activen Eisen befindet.

Der Anwendung der Eisensäule steht das starke Rosten desjenigen Theils der Eisengefäße, welcher aus der Flüssigkeit vorragt, hindernd entgegen.

Callan's Zinkbleikette. Im Philosop. Magaz. für 1847 (Ser. 122
III. Vol XXXI. pag. 81.) beschreibt Callan eine neue Volta'sche Combination, von welcher Poggendorff im LXXII. Bande seiner Annalen, pag. 495, Bericht erstattet. Das Platin der Grove'schen Kette ist hier

durch platinirtes Blei erſetzt; dieſes ſteht in einem Gemiſch von 4 Theilen concentrirter Schwefelſäure, 2 Theilen Salpeterſäure und 2 Theilen geſättigter Salpeterlöſung. Das Zink ſteht in verdünnter Schwefelſäure, welche natürlich durch eine Thonzelle von der andern Flüſſigkeit getrennt iſt.

Die Wirkung dieſer Kette ſoll nach Callan's Angaben der einer Grove'ſchen nicht nachſtehen.

Poggendorff fand in der That die elektromotoriſche Kraft dieſer Combination gleich der der Grove'ſchen Kette; auch zeigte der Strom der Zinkbleikette mehrere Stunden lang dieſelbe Beſtändigkeit, wie der Strom der Zinkplatinkette; dagegen ergab ſich kein Vortheil von dem Zuſatz der Salpeterlöſung zur Salpeterſäure; der Zuſatz der concentrirten Schwefelſäure aber hat außer dem Vortheil, das Blei vor dem Angriff der Salpeterſäure zu ſchützen (was der Platinüberzug als lockeres Pulver nicht vermag), noch den ſehr ſchätzbaren, daß er die Anwendung einer verdünnten Salpeterſäure geſtattet.

Streng genommen iſt dieſe Kette ebenfalls eine Zinkplatinkette, indem das Blei eigentlich nur der Träger der dünnen Platinſchicht iſt, ſo daß Zink und Platin die Endglieder des in die Flüſſigkeit eingetauchten Metallbogens ſind.

123 **Zweckmäßigſte Combination einer gegebenen Anzahl Volta'ſcher Elemente, um bei gegebenem Schließungsbogen die größte Wirkung zu erhalten.** Theoretiſch iſt der in der Ueberſchrift bezeichnete Gegenſtand zwar ſchon lange erledigt, die Beweiſe ſind aber meiſt nur mit Hülfe höherer Rechnung geführt, und die ganze Form der Darſtellung ſo gehalten, daß die praktiſche Anwendung des Satzes immer mehr angedeutet als durchgeführt iſt; eine etwas ausführlichere Beſprechung dürfte deshalb wohl am Platze ſeyn.

Gewöhnlich wird die Frage ſo aufgeſtellt: Wie hat man über eine gegebene Metalloberfläche, die zur Conſtruction Volta'ſcher Elemente benutzt werden ſoll, zu disponiren (d. h. wie viel Elemente und wie groß ſoll man ſie machen), damit bei gegebenem Schließungsbogen ein Maximum von Wirkung erhalten wird?

Dieſe Form der Frage entſpricht nicht ganz den in der Praxis vorkommenden Fällen. Man iſt meiſtens nicht in dem Falle, die Volta'ſche Batterie für einen beſtimmten Schließungsbogen zu conſtruiren, ſondern es handelt ſich darum, wie man eine disponible Anzahl von galvaniſchen Elementen combinire, um ein Maximum des Effectes zu erhalten?

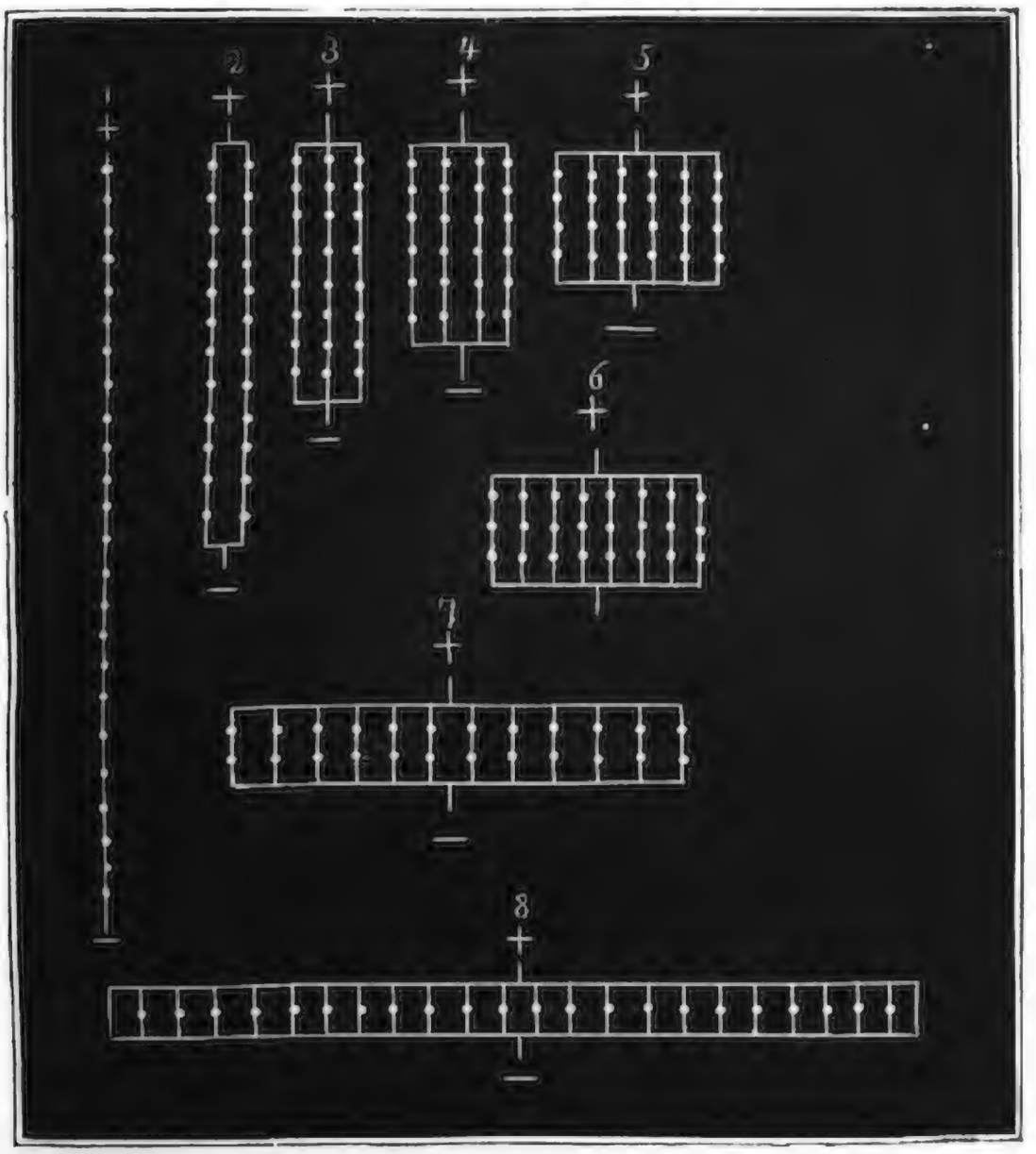
Ein Maximum der Stromſtärke erhält man von einer gegebenen Anzahl von Elementen, wenn man ſie ſo ordnet,

daß der Widerstand in der Kette dem Widerstande im Schließungsbogen gleich ist.

Ich will den Satz zuerst erläutern, dann beweisen.

Eine gegebene Anzahl von Elementen läßt sich auf die mannigfachste Weise combiniren. Z. B. 24 Elemente kann man, wie dies in Fig. 100 anschaulich gemacht wird, auf 8 verschiedene Arten ordnen:

Fig. 100.



1) Zu einer Säule von 24 einzelnen Elementen,
2) » » » » 12 doppelten »
3) » » » » 8 dreifachen »
4) » » » » 6 vierfachen »
5) » » » » 4 sechsfachen »
6) » » » » 3 achtfachen »
7) » » » » 2 zwölffachen »
8) » » » » 1 vierundzwanzigfachen Elemente.

Welche von dieſen Combinationen in einen beſtimmten Fall zu wählen ſey, hängt vom Leitungswiderſtande des Schließungsbogens ab. Man hat diejenige Combination zu nehmen, deren Widerſtand dem des gegebenen Schließungsbogens am nächſten ſteht. Bezeichnen wir mit 1 den Widerſtand eines Elementes, ſo iſt der Widerſtand

für die	1.	Combination . .	24,
» »	2.	» . .	6,
» »	3.	» . .	2,666,
» »	4.	» . .	1,5,
» »	5.	» . .	0,666,
» »	6.	» . .	0,375,
» »	7.	» . .	0,166,
» »	8.	» . .	0,0416.

Iſt der Widerſtand des gegebenen Schließungsbogens kleiner als 0,1 von dem Widerſtande eines Elementes, ſo hat man die letzte Combination zu wählen, die erſte aber, wenn der Leitungswiderſtand des Schließungsbogens größer iſt als der von 15 Elementen. Liegt der zu überwindende Widerſtand zwiſchen 15 und 4,3 — zwiſchen 4,3 und 2 — zwiſchen 2 und 1,08 u. ſ. w., ſo hat man die 2te, 3te, 4te u. ſ. w. Combination zu wählen.

Der eben erläuterte Satz muß nun noch bewieſen werden.

Betrachten wir die verſchiedenen Combinationen von 24 Elementen, wie ſie in Fig. 101 dargeſtellt ſind, ſo überſieht man leicht, daß, wenn man die Säule verkürzt, ſie in demſelben Verhältniß breiter wird, d. h. wenn man weniger Elemente hinter einander ſetzt, ſo kann man bei Anwendung der gleichen Elementenzahl in demſelben Verhältniß mehr Elemente neben einander ſetzen.

Gehen wir von der zweiten Combination aus. Wir haben hier 12 Doppelelemente. Reduciren wir die Länge der Säule auf die Hälfte, alſo auf 6, ſo können wir die Breite jedes Elementes verdoppeln, wir haben jetzt 6 vierfache Elemente.

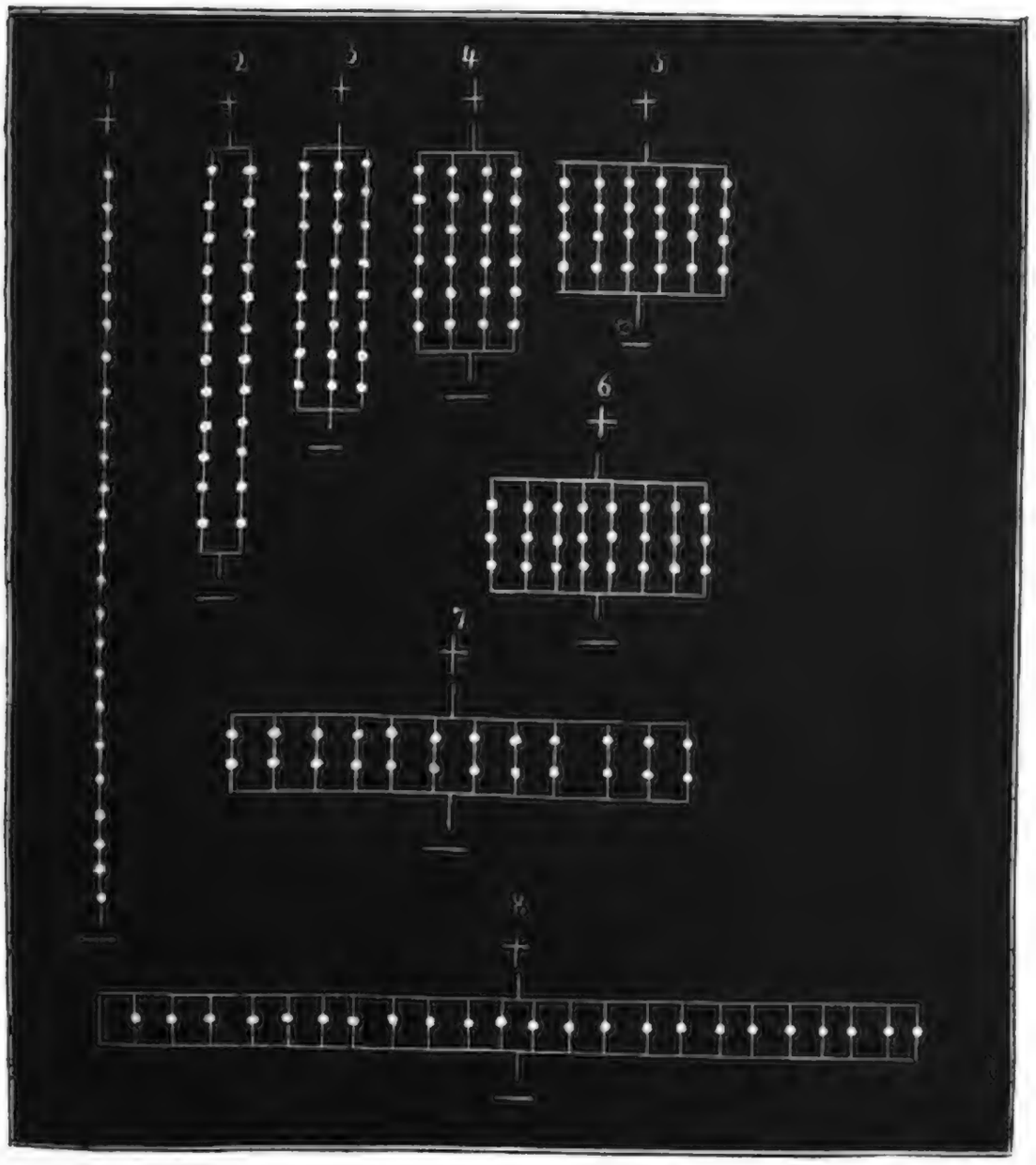
Macht man die Säule 3mal kürzer, ſo kann man 3mal ſoviel einzelne Elemente zu einem vereinigen; aus 12 zweifachen Elementen erhält man 4 ſechsfache. Kurz, wenn man die Säule $a$mal kürzer macht, ſo kann man $a$mal ſoviel Einzelelemente zu einem vereinigen.

Wenn die Zahl der hinter einander zur Säule vereinigten Elemente $a$mal kleiner wird, ſo wird die elektromotoriſche Kraft dadurch $a$mal kleiner; hätte man nun die Kette bloß $a$mal kürzer gemacht, ohne ihre Breite zunehmen zu laſſen, ſo würde auch der Leitungswiderſtand $a$mal kleiner geworden ſeyn; wenn aber jedes Element der einen Säule aus $a$mal ſo

vielen Einzelelementen besteht als früher, so wird nun der Widerstand in der That a^2mal kleiner als vorher.

So ist der Leitungswiderstand für 6 vierfache Elemente (Combination Nr. 4) 4mal kleiner als für 12 Doppelelementen (Combination 2), er ist für 4 sechsfache Elemente (Combination 5) 9mal kleiner als für 12 doppelte u. s. w.

Fig 101.



Nach dieser Auseinandersetzung ist nun der fragliche Beweis leicht zu führen. Es sey für irgend eine Combination mehrerer Elemente die elektromotorische Kraft E der wesentliche Leitungswiderstand l. Wird diese Säule durch einen Schließungsbogen geschlossen, dessen Widerstand ebenfalls l ist, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$S = \frac{E}{l+l} = \frac{E}{2l} \quad \ldots\ldots 1)$$

Wird nun die Säule $a$mal kürzer, die einzelnen Elemente aber $a$mal breiter gemacht, ſo wird die elektromotoriſche Kraft $a$mal kleiner, ſie wird $\frac{E}{a}$; der Leitungswiderſtand der Kette wird aber $\frac{l}{a^2}$, die Stromſtärke wird alſo jetzt bei gleichem Schließungsbogen

$$S' = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{l}{a^2} + l} = \frac{E}{l\left(a + \frac{1}{a}\right)} \quad \ldots\ldots 2)$$

Die Summe $a + \frac{1}{a}$ iſt nun aber unter allen Umſtänden größer als 2 *), was für einen ganzen oder gebrochenen Zahlenwerth man auch für a ſetzen mag; es iſt alſo auch der Werth des Bruches 2) unter allen Umſtänden kleiner als der des Bruches 1). Da nun 1) den Werth der Stromſtärke für den Fall bezeichnet, daß der Widerſtand im Elektromotor

---

*) Daß die Summe $a + \frac{1}{a}$ wirklich ſtets größer iſt als 2, davon kann man ſich leicht überzeugen, wenn man für a der Reihe nach 1, 2, 3, 4 u. ſ. w. oder $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. ſ. w. ſetzt; man kann dieſen Satz aber auch leicht beweiſen. Setzen wir der größeren Allgemeinheit wegen $a = \frac{r}{s}$, ſo iſt

$$a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} = \frac{s}{r},$$

wo r ſowohl als s jede beliebige ganze und poſitive Zahl bedeuten kann. Es ſey nun $s > r$, und zwar $s = r + t$, ſo haben wir

$$\begin{aligned}
\frac{r}{s} + \frac{s}{r} = \frac{r}{r+t} + \frac{r+t}{r} &= \frac{r}{r+t} + \frac{t}{r} + 1 \\
&= 1 + \frac{r^2 + rt + t^2}{r(r+t)} \\
&= 1 + \frac{(r+t)^2 - rt}{r(r+t)} \\
&= 1 + \frac{r+t}{r} - \frac{t}{r+t} \\
&= 1 + 1 + \frac{t}{r} - \frac{t}{r+t} \\
&= 2 + t\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+t}\right)
\end{aligned}$$

da nun $r + t$ jedenfalls größer iſt als r, ſo iſt der in den letzten Klammern ſtehende Ausdruck poſitiv, mithin auch $\frac{r}{s} + \frac{s}{r}$ größer als 2. Da aber $\frac{r}{s} + \frac{s}{r}$ nur eine veränderte Form für den Ausdruck $a + \frac{1}{a}$ iſt, ſo iſt alſo auch $a + \frac{1}{a} > 2$.

dem Widerstand des Schließungsbogens gleich ist, der Bruch 2) aber den Werth der Stromstärke für den Fall, daß dieselbe Anzahl von Einzelelementen auf irgend eine andere Weise combinirt ist, so ist hiermit der fragliche Satz bewiesen.

Die Anwendung dieses Satzes mag durch ein Beispiel erläutert werden. — Man will zur Magnetisirung eines Elektromagneten den Strom von 24 Zinkkohlen-Elementen anwenden; der Widerstand eines Elementes, mit schwacher Säure geladen, ist 15,05 (Seite 258). Der Widerstand der Windungen des Elektromagneten aber ergab sich gleich dem von 13,54 Meter Normaldraht, der Widerstand des Schließungsbogens ist also 0,9 von dem eines einzelnen Elementes. Ein Blick auf die Zusammenstellung Seite 289 sagt uns, daß wir die fünfte Combination als die vortheilhafteste wählen müssen, weil ihr Widerstand 0,66 dem des Schließungsbogens näher ist, als der der anderen Combinationen. Setzen wir der Kürze halber die elektromotorische Kraft des Elementes gleich 1, den Widerstand derselben ebenfalls gleich 1, so ergeben sich, wenn man der Reihe nach alle 8 Combinationen als Elektromotoren für den eben besprochenen Elektromagneten anwenden wollte, für die Stromstärke folgende Werthe:

1 . . . . . $\frac{24}{24 + 0{,}9} = 0{,}963$

2 . . . . . $\frac{12}{6 + 0{,}9} = 1{,}74$

3 . . . . . $\frac{8}{2{,}666 + 0{,}9} = 2{,}24$

4 . . . . . $\frac{6}{1{,}5 + 0{,}9} = 2{,}5$

5 . . . . . $\frac{4}{0{,}666 + 0{,}9} = \mathbf{2{,}54}$

6 . . . . . $\frac{3}{0{,}375 + 0{,}9} = 2{,}36$

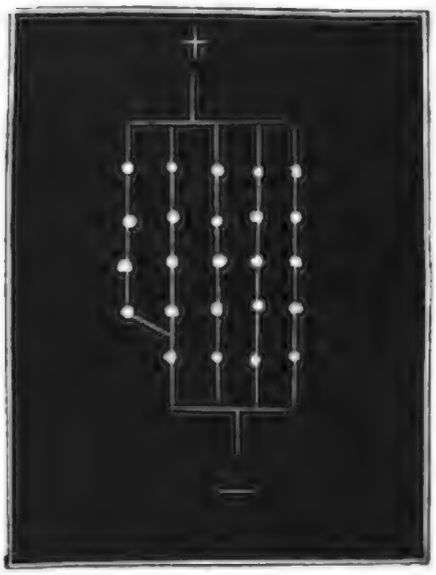
7 . . . . . $\frac{2}{0{,}166 + 0{,}9} = 1{,}85$

8 . . . . . $\frac{1}{0{,}042 + 0{,}9} = 1{,}61.$

Man sieht hier, daß für die Combination 5 die Stromstärke, und also auch, da ja die Drahtwindungen der Elektromagnete ungeändert bleiben, der Magnetismus des weichen Eisens größer seyn wird als bei den übrigen Combinationen. Die Combination 4 kommt in ihrer Wirkung der Combination 5 sehr nah, das eigentliche Maximum läßt sich also zwischen 4

und 5 erwarten. In der That giebt die in Fig. 102 dargeſtellte Combination die Stromſtärke 2,56.

Fig. 102.



Ladet man dieſelben Elemente mit ſtärkerer Säure, ſo wird der Widerſtand des Elementes 5,85; der Widerſtand des Schließungsbogens iſt 2,3mal ſo groß als der eines Elementes, und für dieſen Fall wäre die dritte Combination (8 dreifach Elemente) die vortheilhafteſte.

Die vortheilhafteſte Combination für einen gegebenen Waſſerzerſetzungsapparat werden wir weiter unten betrachten.

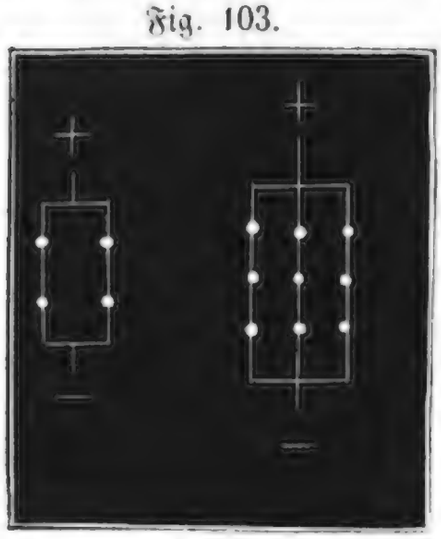
Hat man einmal eine gegebene Anzahl von Elementen ſo combinirt, daß ſie in einem gegebenen Schließungsbogen ein Maximum von Stromſtärke geben, ſo wird eine Vermehrung der Elemente die Stromſtärke im günſtigſten Falle nur im Verhältniß der Quadratwurzel aus der Elementenzahl vergrößern; man muß alſo 4mal, 9mal, 16mal ſo viel Elemente anwenden, um die 2fache, 3fache, 4fache Wirkung zu erhalten.

Suchen wir dies erſt an einem ſpeciellen Fall nachzuweiſen. Es ſey der Widerſtand des Schließungsbogens gleich r, gleich dem Widerſtande eines Elementes, deſſen elektromotoriſche Kraft mit E bezeichnet werden ſoll, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{r + r} = \frac{E}{2r}.$$

Die Stromſtärke ſoll nun durch Vermehrung der Elementenzahl verdoppelt werden. Soll die neue Combination ein Maximum von Effect geben, ſo muß der Widerſtand in der Kette ſo groß bleiben als der Widerſtand des Schließungsbogens, der Widerſtand der neuen Combination darf alſo nicht größer werden als der eines einzigen Elementes; wir werden alſo die doppelte Stromſtärke erhalten, wenn wir bei unverändertem Widerſtande die elektromotoriſche Kraft verdoppeln. Die elektromotoriſche Kraft wird verdoppelt dadurch, daß 2 Elemente hinter einander geſetzt werden; wir müſſen aber 2 Doppelelemente nehmen, wenn ihr Widerſtand eben ſo groß ſeyn ſoll wie der eines einzelnen Elementes; die Combination Fig. 102 wird alſo eine 2mal, die Combination Fig. 103 wird eine 3mal ſo große Stromſtärke geben als ein einzelnes Element.

Fig. 103.



Betrachten wir die Sache etwas allgemeiner, a Becher seyen so combinirt, daß der Widerstand der Kette dem Widerstande des Schließungsbogens gleich ist, daß also das Maximum der Wirkung erreicht wird, welches die a Becher in dem gegebenen Schließungsbogen hervorbringen können. Stellt man 2mal, 3mal, ...$n$mal so viel Becher neben einander, so daß jedes Element der Säule also gleichsam eine 2mal, 3mal, ... $n$mal größere Oberfläche erhält; macht man aber gleichzeitig die Säule auch 2, 3, ... $n$mal so lang, indem man auch 2, 3 ... $n$mal so viel Elemente hinter einander stellt; so hat man in allen 4mal, 9mal .... n^2mal so viel Becher verwandt. Der Widerstand der Kette bleibt dabei unverändert, die Stromstärke wächst also in demselben Verhältniß, in welchem die elektromotorische Kraft, in welchem die Zahl der hinter einander stehenden Elemente zunimmt, sie ist also 2, 3, ... $n$mal größer geworden. Mit 4 a, 9 a ... n^2 a Becher können wir also im günstigen Fall eine 2mal, 3mal, $n$mal größere Stromstärke erhalten, als die ist, welche man mit a Elementen erzielen kann.

Zweckmäßigste Einrichtung des Schließungsbogens, um mit einem gegebenen Elektromotor ein Maximum von Wirkung zu erhalten. In anderen Fällen ist der Elektromotor gegeben, und man fragt, wie muß man die Drahtwindungen wählen, um ein Maximum von Wirkung zu erhalten; soll man aus derselben Quantität Kupfer viele Windungen eines dünnen und langen Drahtes, oder weniger Windungen mit kürzerem und dickerem Drahte machen. Bei Multiplicatoren ist die Quantität des Kupferdrahtes, welche man anzuwenden hat, begränzt durch die Größe des Raumes, welchen man zweckmäßiger Weise mit Drahtwindungen ausfüllen kann; bei Elektromagneten ist die Quantität des Kupferdrahtes durch die Geldsumme bedingt, welche man zu seiner Construction verwenden will. 124

Nehmen wir an, der Widerstand eines Kupferdrahtes von einer bestimmten Länge und Dicke, welche n Windungen giebt, sey gleich l, gleich dem wesentlichen Widerstande des Elektromotors, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{l + l} = \frac{E}{2\,l},$$

und diese Stromstärke wirkt in n Windungen auf die Magnetnadel oder das weiche Eisen, wir können diese Wirkung so bezeichnen mit

$$M = n \cdot \frac{E}{2\,l} \quad \ldots\ldots 1)$$

Macht man den Draht bei unveränderter Masse $m$mal so lang, so wird sein Querschnitt $m$mal kleiner, und also der Widerstand m^2mal größer, die Stromstärke ist also jetzt

$$S' = \frac{E}{l + m^2\,l} = \frac{E}{l\,(1 + m^2)},$$

aus dieſer Drahtlänge kann man aber *m*mal ſo viel Windungen machen als vorher, die magnetiſche Wirkung iſt alſo jetzt

$$M' = m \,.\, n \cdot \frac{E}{l\,(m^2+1)} = n\,\frac{E}{l\left(m+\frac{1}{m}\right)} \quad \ldots\ldots 2)$$

Der Werth von M iſt aber, wie ſchon oben bewieſen wurde, ſtets größer als der Werth von M' in Gleichung 1). Mit einer gegebenen Drahtmaſſe erreicht man alſo ein Maximum magnetiſcher Wirkung, wenn man dem Draht eine ſolche Dicke und Länge giebt, daß der Widerſtand in den Windungen dem Widerſtande des Elementes gleich iſt.

Man will z. B. 8 Pfund Kupferdraht zur Conſtruction eines Elektromagneten verwenden, zu deſſen Erregung man eines der oben Seite 256 beſprochenen Daniell'ſchen Elemente zu benutzen gedenkt; wie dick muß man den Draht machen?

Der Widerſtand jenes Elementes iſt gleich dem Widerſtande von 11,1 Meter Normaldraht. Der Normaldraht hat einen Querſchnitt von 0,785 Quadratmillimeter oder 0,00785 Quadratcentimeter; eine Länge von 11,1 Metern oder 1110 Centimetern hat alſo einen Körperinhalt von 8,71 Kubikcentimetern. Das ſpecifiſche Gewicht des zu Draht gezogenen Kupfers iſt 8,88; mithin beträgt das Gewicht des Normaldrahtes, welcher gleichen Leitungswiderſtand wie das Element hat, 8,71 × 8,88 = 77,34 Grm.

Die Drahtmaſſe, über welche man zu disponiren hat, wiegt aber nicht 77,34 Gramm, ſondern ſie wiegt 8 Pfund oder 4000 Grm., wir haben alſo eine $\frac{4000}{77{,}34} = 51{,}7$ mal ſo große Drahtmaſſe als die des Normaldrahtes, welcher die Bedingung erfüllt.

Wenn man ſtatt eines Drahtes von beſtimmtem Durchmeſſer und beſtimmter Länge einen Draht von 3fachem Durchmeſſer nimmt, ſo iſt ſein Querſchnitt 3 . 3 = 9mal größer, man muß alſo auch dem Draht eine 9fache Länge geben, wenn der Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll; das Volumen des Drahtes iſt jetzt 81 = 3^4mal ſo groß als es vorher war. Ein *n*mal ſo dicker Draht muß von n^2mal ſo großer Länge, alſo von n^4mal ſo großer Maſſe genommen werden, wenn ſein Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll.

Bei *p*facher Maſſe muß man alſo dem Draht eine $\sqrt{p}$fache Länge und einen $\sqrt[4]{p}$fachen Durchmeſſer geben, wenn der Leitungswiderſtand unverändert bleiben ſoll.

Die Kupfermaſſe, über welche wir zu disponiren haben, iſt 51,7mal ſo

groß als die eines Normaldrahtes, welcher denselben Leitungswiderstand ausübt wie das Element, wir müssen also aus dieser Kupfermasse einen Draht machen, welcher $\sqrt{51,7} = 7,18$ mal so lang und $\sqrt[4]{51,7} = 2,68$ mal so dick ist als der 11,1 Meter lange Normaldraht. Wenn also die 8 Pfund Kupferdraht als Draht denselben Leitungswiderstand ausüben sollen, wie das Daniell'sche Element, so muß man den Draht 2,68 Millimeter dick wählen, wobei er eine Länge von $7,18 \times 11,1 = 79,7$ Meter hat.

Hätte man den Elektromagneten für ein Stöhrer'sches Element einrichten wollen, dessen wesentlicher Widerstand gleich dem von 6,2 Metern Normaldraht ist, so hätte sich aus ähnlichen Betrachtungen ergeben, daß man die 8 Pfund von einem 3,1 Millimeter dicken Draht hätte nehmen müssen; die Länge desselben ergiebt sich gleich 60 Metern.

Wendet man den für die Daniell'sche Kette construirten Elektromagneten und diese Kette an, so ist die Stromstärke

$$\frac{E}{11,1 + 11,1} = \frac{E}{22,2}.$$

Ist der Draht in n Windungen um das Eisen gefügt, so können wir den magnetischen Effect mit

$$M = n \cdot \frac{E}{22,2}$$

bezeichnen. Hätte man den Draht doppelt so lang, also von halbem Querschnitt gewählt, so wäre sein Widerstand 4mal größer, also 44,4, und die Stromstärke $\frac{E}{11,1 + 44,4} = \frac{E}{55,5}$ geworden; diese Stromstärke wird aber in $2n$ Windungen um das Eisen geführt, also wäre jetzt der magnetische Effect

$$M' = 2n \frac{E}{55,5} = n \frac{E}{27,7}.$$

Hätte man einen halb so langen Draht von doppeltem Querschnitt genommen, so hätte man den magnetischen Effect

$$M'' = \tfrac{1}{2} n \frac{E}{13,9} = n \frac{E}{27,8}$$

erhalten. Man sieht, daß in der That die Werthe von M' und M'' kleiner sind als der von M.

Nach diesen Principien läßt sich auch ermitteln, wie man zu einer gegebenen thermoelektrischen Säule einen möglichst empfindlichen Multiplicator zu construiren habe, eine Frage, welche auf theoretischem Wege freilich schon lange gelöst ist; bis jetzt aber hat man es immer noch versäumt, dieser Lösung eine für die praktische Anwendung leicht zugängliche Form

zu geben. Wir wollen uns deshalb bei dieſem Gegenſtand noch etwas verweilen.

So beſitzt z. B. unſer phyſikaliſches Cabinet eine thermoelektriſche Säule mit dazu gehörigem Galvanometer. Ich fand den

Widerſtand der Thermoſäule = 18,34 Meter Normaldraht
» des Multiplicatordrahts 1,75 » »

Der Widerſtand des Multiplicatordrahtes iſt alſo über 10mal geringer als der Widerſtand der Thermoſäule.

Bezeichnen wir die elektromotoriſche Kraft der Thermoſäule mit E, ſo iſt die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{18{,}34 + 1{,}75} = \frac{E}{20'}$$

dieſe Stromſtärke wird in n Windungen um die Nadel geführt, der magnetiſche Effect iſt alſo

$$M = n\,\frac{E}{20}.$$

Hätte man nun dieſelbe Drahtmaſſe zur dreifachen Länge ausgezogen, ſo wäre ihr Widerſtand 9mal größer, er wäre $9 \times 1{,}75 = 15{,}75 =$ alſo in der That nahe gleich dem der Thermoſäule geworden. Nun wäre die Stromſtärke.

$$S' = \frac{E}{18{,}3 + 17{,}75} = \frac{E}{36}$$

und die magnetiſche Wirkung

$$M' = 3n\frac{E}{36} = n\,\frac{E}{12}$$

geworden, weil wir ja jetzt den Strom in $3\,n$ Windungen um den Draht führen. Der Werth M' iſt in der That nahe doppelt ſo groß als M.

Bei gleicher Quantität Kupferdraht könnte alſo der Multiplicator für die beſagte Thermoſäule doppelt ſo empfindlich gemacht werden, wenn man den Draht zu dreifacher Länge auszöge, ſo daß er dreimal ſoviel Windungen von dreimal geringerem Querſchnitt gäbe.

Daß man den Draht zu dieſem Multiplicator zu kurz und zu dick genommen hat, rührt ohne Zweifel daher, daß man von der Vorausſetzung ausging, der Leitungswiderſtand der Thermoſäule, welche aus lauter Metallen beſteht, könne nicht groß ſeyn, man dürfe alſo nur einen etwas dicken nicht zu langen Draht wählen. — Man ſieht, daß man in ſolchen Dingen mit ungefähren Schätzungen nicht ausreicht.

125 **Vergleichung der Wirkung verſchiedener Ketten in gegebenen Fällen.** Nach den oben mitgetheilten Conſtanten verſchiedener Ketten kann man für jeden gegebenen Fall die Stromſtärke berechnen. Wenn der Widerſtand des Schließungsbogens l iſt, ſo iſt für eine Zinkkohlenkette,

wenn ihre mittlere Oberfläche gleich 1 Quadratdecimeter ist, bei Anwendung Stöhrer'scher Zellen und Schwefelsäure auf Wasser, die Stromstärke

$$S = \frac{824}{12 + l}.$$

Für ein gleichgroßes Daniell'sches Element würde bei gleich stark verdünnter Schwefelsäure die Stromstärke

$$\frac{470}{12 \,.\, 1{,}8 + l} = \frac{470}{21{,}6 + l}$$

seyn. Ist l sehr klein gegen den wesentlichen Widerstand der Elemente, so verhalten sich die Stromstärken wie $\frac{824}{12}$ zu $\frac{470}{21{,}6}$ oder wie 68,6 zu 21,8; die Stromstärke ist also über 3mal so groß für die Zinkkohlenkette. Bei sehr guter Schließung wird also ein Zinkkohlenelement so viel leisten als ein Daniell'sches von 3mal so großer mittlerer Oberfläche.

Für einen sehr großen Widerstand stellt sich das Verhältniß anders heraus, es verhalten sich dann die Stromstärken wie die elektromotorischen Kräfte, also wie 470 zu 824; in diesem Falle würde man durch Vergrößerung der Oberfläche des Zinkkupferelementes nicht viel gewinnen, man müßte zwei Daniell'sche Elemente hintereinander stellen, um dieselbe Wirkung zu erhalten, wie mit einem Zinkkohlenelement.

Den Effect einer Zinkkohlensäule kann man also in allen Fällen mit einer Daniell'schen auch erreichen, wenn die einzelnen Elemente die dreifache Oberfläche haben und man ihrer doppelt so viel anwendet, als man Zinkkohlenelemente nöthig hatte.

Was von der Zinkkohlenkette gesagt wurde, gilt auch von der Grove'schen, da die Constanten beider fast gleich sind.

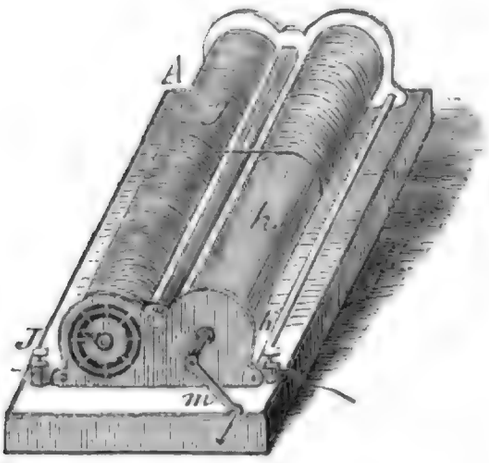
Als Schluß dieses Abschnitts folgt hier noch die Beschreibung einiger Instrumente, welche bei den bisher besprochenen Versuchen in Messungen in Anwendung kommen.

Rheostate. Um den Leitungswiderstand im Schließungsbogen eines 126
Rheomotors innerhalb der erforderlichen Gränzen allmälig verändern zu können, ohne die Kette öffnen zu müssen, sind mehrere Instrumente vorgeschlagen worden, namentlich von Jakobi und Wheatstone. Jakobi nennt sein Instrument Agometer. Die Beschreibung desselben ist in Poggendorff's Annalen, Bd. LIV. 340, LIX. 145, zu finden. Ein Instrument dieser Art ist ohne Zweifel sehr kostspielig, weshalb es wohl keine weite Verbreitung finden dürfte, um so mehr, da Wheatstone's zu gleichem Zweck construirte Instrumente, bei gleicher Zweckdienlichkeit, ungleich einfacher und bequemer zu handhaben sind.

In meinem Lehrbuch der Phyſik (3te Aufl. 2ter Bd. Seite 193) habe ich bereits einen Wheatſtone'ſchen Rheoſtaten mit dickem Drahte beſchrieben, welcher anzuwenden iſt, wenn der Widerſtand des Schließungsbogens überhaupt nicht ſehr bedeutend iſt. Wenn der Geſammtwiderſtand in der Kette aber ſehr groß iſt, ſo würde man ſehr große Längen dieſes dicken Drahtes ab- oder aufwickeln müſſen, um eine merkliche Veränderung der Stromſtärke zu erzielen; in ſolchem Falle muß man alſo einen Rheoſtaten mit dünnem Draht anwenden, welcher der Natur der Sache nach eine andere Conſtruction haben muß.

Wheatſtone's Rheoſtat mit dünnem Draht (Poggend. Annalen, LXII., 499) iſt Fig. 104 dargeſtellt. Es iſt *g* ein Cylinder von trocknem Holz, ungefähr 6″ lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmeſſer; *h* iſt ein Cylinder von Meſſing, welcher dieſelben Dimenſionen hat. Die Axen beider Cylinder ſind einander parallel. Auf dem Holzcylinder iſt ein Schraubengang eingeſchnitten, und an einem ſeiner Enden (dem vorderen unſerer Figur) trägt derſelbe einen Meſſingring, an welchem das Ende eines langen und ſehr dünnen Drahtes befeſtigt iſt. Dieſer wird auf den Holzcylinder ſo aufgewickelt, daß er die ſämmtlichen Schraubengänge ausfüllt, und dann mit ſeinem andern Ende auf dem jenſeitigen Ende des Meſſingcylinders befeſtigt. — Die zum Einſchrauben von Drähten beſtimmten Meſſingſäulchen *J* und *k*, ſitzen auf Metallfedern, von denen die eine gegen das vordere Ende des Meſſingcylinders *h*, die andere gegen den Meſſingring des Holzcylinders drückt (in der Fig. ſind die Federn nicht ſichtbar). Die abnehmbare Kurbel *m* dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man ſie auf den Cylinder *h* und dreht man nach der Rechten, ſo wird der Draht vom Holzcylinder ab und auf den Meſſingcylinder gewickelt; ſteckt man ſie dagegen auf den Cylinder *g* und dreht nach der Rechten, ſo geſchieht das Umgekehrte. Da die Windungen auf dem Holzcylinder iſolirt und durch die Schraubengänge von einander entfernt gehalten werden, ſo durchläuft der Strom auf dieſem Cylinder den Draht ſeiner ganzen Länge nach; allein auf dem Meſſingcylinder, wo die Windungen nicht iſolirt ſind, geht der Strom ſogleich von dem Punkte, wo der Draht den Cylinder berührt, zu der Feder bei *k*. Der als Widerſtand wirkſame Theil der Drahtlänge

Fig. 104.



ist also das veränderliche Stück, welches sich auf dem Holzcylinder befindet.

Von den Schraubengängen des Holzcylinders gehen 40 auf einen Zoll. Der Draht ist von Messing, und hat 0,01 Zoll im Durchmesser.

Zur Zählung der abgewickelten Windungen ist eine Skale zwischen den beiden Cylindern angebracht, und die Bruchtheile einer Windung bestimmen sich mittelst eines Zeigers, der an der Axe des einen Cylinders befestigt ist, und auf die Theilpunkte eines graduirten Kreises hinweist.

Die Art und Weise, wie dies Instrument anzuwenden ist, bedarf wohl nach dem, was ich in meinem Lehrbuche der Physik über die Anwendung des andern Rheostaten gesagt habe, keiner Erläuterung mehr.

Differentialwiderstandsmesser. Un den Widerstand von Metall- 127
drähten zu bestimmen, hat Wheatstone ein sehr einfaches Verfahren angegeben, welches bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Bd. Seite 195) besprochen worden ist. Man schaltet nämlich in den Schließungsbogen eines constanten Elementes das Rheostat, das Galvanometer und den Draht ein, dessen Widerstand ermittelt werden soll, und regulirt den gesammten Widerstand so, daß die Nadel auf irgend einen beliebigen Punkt a der Bussolentheilung zu stehen kommt. Nimmt man nun den Draht aus der Schließung heraus, so wird nur die Nadel eine größere Ablenkung zeigen, und um sie wieder auf den Punkt a zurückzubringen, muß man noch eine bestimmte Anzahl von Umgängen des Rheostaten dem vorhandenen Widerstande hinzufügen. Man erfährt auf diese Weise, wie groß der Widerstand des fraglichen Drahtes ist, ausgedrückt in Windungen des Rheostaten.

Nach dieser Methode erhält man ziemlich gleich genaue Resultate, mag man nun einen Multiplicator, oder die ungleich weniger empfindliche Tangentenbussole, oder irgend ein anderes Galvanometer anwenden. Der Grund davon ist folgender: Um an einer Tangentenbussole eine Ablenkung etwa von 45^0 hervorzubringen, darf der Gesammtwiderstand des Schließungsbogens nicht sehr groß seyn. Nehmen wir an, R sey der Gesammtwiderstand der ganzen Kette für diesen Fall, und eine Vermehrung oder Verminderung dieses Widerstandes r bringe eine solche Veränderung in der Stromstärke hervor, daß die Ablenkung der Nadel um 1^0 verändert wird.

Wendet man nun einen Multiplicator an, der etwa 150mal empfindlicher ist als die Tangentenbussole, so wird der Gesammtwiderstand der Kette nahezu $150\ R$ seyn müssen, wenn die Ablenkung der Nadel des Multiplicators auch um 45^0 abgelenkt werden soll. Um eine gleiche Veränderung in der Stromstärke hervorzubringen, wie die oben erwähnte

war, muß man jetzt den Widerſtand um 150 r vermehren oder vermindern müſſen. Weil aber der Multiplicator 150mal empfindlicher iſt als die Tangentenbuſſole, ſo wird ſchon der 150ſte Theil dieſer Widerſtandsveränderung, alſo ebenfalls r genügen, um den Stand der Nadel um 1^0 zu vergrößern oder zu verkleineren; dieſelbe Widerſtandsänderung r bringt alſo an beiden Inſtrumenten nahe zu gleiche Ablenkungsänderungen hervor.

Soll der Multiplicator ganz geringe Veränderungen im Schließungsbogen angeben, ſo muß dafür geſorgt werden, daß die entſprechende Stromdifferenz im Multiplicator zur Wirkung kommt, ohne daß ſchon ein ſehr bedeutender Widerſtand im Schließungsbogen eingeſchaltet iſt. Wheatſtone hat dies mit Hülfe der Fig. 105 dargeſtellten Vorrichtung, welche er Differential-Widerſtandsmeſſer nennt, erreicht. Auf einem Brette, etwa 14 Zoll lang und 4 Zoll breit, ſind, ein Parallelogramm bildend, die Meſſingſäulchen a, b, c und d befeſtigt, ferner zwiſchen a und d noch die Säulchen e und f, zwiſchen d und b die Säulchen g und h. Dieſe Säulchen, welche mit Klemmſchrauben verſehen ſind, damit man Drähte in ſie einſchrauben kann (alſo Säulchen wie die, welche ſich an dem Inſtrumente befinden, das Seite 211 des 2ten Bandes meines Lehr-

Fig. 105.

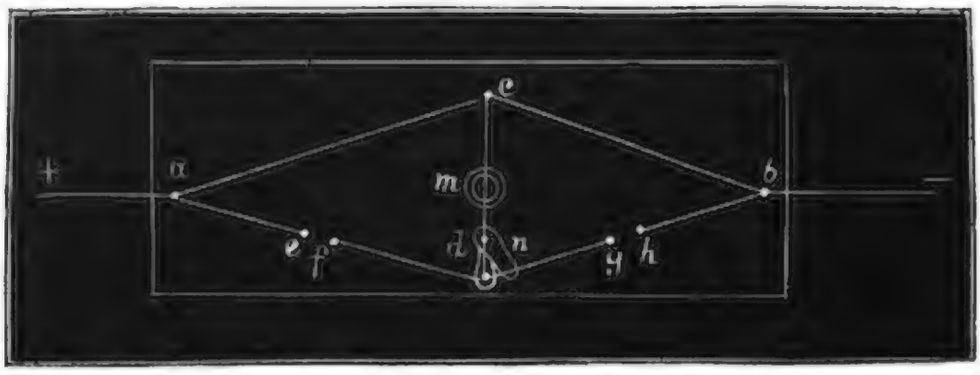
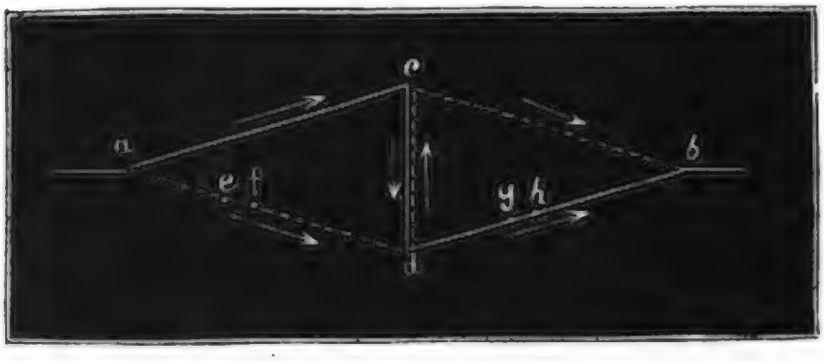


Fig. 106.



buchs abgebildet iſt), ſind durch Drähte verbunden, wie man in der Figur ſieht. — In a wird nun der eine, in b der andere Poldraht des Elektromotors eingeſchraubt; ferner ſind die Enden des Multiplicatordrahtes in

e und *d* eingeſchraubt, ſo daß die Säulchen *c* und *d* durch den Multiplicator *m* in leitender Verbindung ſtehn; zwiſchen *e* und *f* iſt ein Drahtſtück und ein anderes zwiſchen *g* und *h* eingeſchaltet. Die Ströme verzweigen ſich hier in mannigfacher Art, wir aber haben nur die zu betrachten, welche durch den Multiplicator gehen.

Ein Strom geht von *a* nach *c*, von *c* durch *m* nach *d*, von *d* über *g* und *h* nach *b*, wie es in Fig. 106 durch die ausgezogene Linie angedeutet iſt; ein anderer Strom, welcher den Multiplicator in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, geht von *a* über *e* und *f* nach *d*, von *d* durch *m* nach *c* und endlich von *c* nach *b*, wie es in Fig. 106 durch die punktirte Linie angedeutet iſt. Sind die Widerſtände in den beiden Drahtleitungen *acdb* und *adcb* vollkommen gleich, ſo ſind es auch die beiden durch den Multiplicator gehenden Ströme, die Nadel wird alſo auf dem Nullpunkte ſtehen bleiben.

Macht man nun den zwiſchen *e* und *f* eingeſchalteten Draht nur ein wenig länger oder kürzer, ſo werden die beiden, in entgegengeſetzter Richtung durch den Multiplicator gehenden Ströme nicht mehr gleich ſeyn, die Differenz der Stromſtärke wird die Ablenkung der Nadel bewirken. Da nun aber die Summe aller Leitungswiderſtände hier überhaupt nicht groß iſt, ſo wird auch eine ganz geringe Veränderung des zwiſchen *e* und *f* eingeſchalteten Widerſtandes eine merkliche Veränderung der Stromſtärke, alſo eine merkliche Ablenkung der Nadel bewirken.

Um nun mittelſt dieſer Vorrichtung den Widerſtand eines Drahtes in Windungen des Rheoſtaten ausgedrückt zu erhalten, kann man folgenderweiſe verfahren. Man ſchalte zwiſchen *e* und *f* den Rheoſtaten mit einigen Windungen und zwiſchen *g* und *h* einen Draht ein, deſſen Widerſtand nahezu dem des auf der andern Seite eingeſchalteten Theils des Rheoſtaten gleich iſt, und regulire Alles ſo, daß die Nadel auf 0 zu ſtehen kommt *). Schaltet man nun zwiſchen *g* und *h* außer dem ſchon vorhandenen noch den Draht ein, deſſen Widerſtand man ermitteln will, ſo muß man auf der andern Seite noch eine Reihe von *n* Rheoſtatenwindungen einſchalten, um die Nadel wieder auf 0 zu bringen. Dieſe

*) Um eine ſolche Regulirung zu erleichtern, hat Wheatſtone noch eine beſondere Vorrichtung an ſeinem Inſtrumente angebracht. Das Säulchen *d* ſitzt auf einem Meſſingſtücke feſt. An dem anderen Ende dieſes Meſſingſtreifens dreht ſich um einen Stift das Meſſingſtück *n*, deſſen freies Ende auf den Draht liegt. Wenn *n* an *d* anliegt, ſo hat es keinen weitern Einfluß, je weiter es aber von *d* gegen *g* hin gerückt wird, deſto mehr wird der Widerſtand auf dem Wege *dg* vermindert. Wenn es nöthig iſt, ſo kann man das drehbare Meſſingſtück *m* auch auf die andere Seite von *d* bringen.

Zahl n der noch einzuſchaltenden Umgänge des Rheoſtatendrahtes iſt nun das Maaß für den Widerſtand des fraglichen Drahtes.

Außer dieſer Vorrichtung hat Wheatſtone noch einige andere zu gleichem Zwecke conſtruirt; hier mag die Beſchreibung der einfachſten genügen.

Dritter Abſchnitt.

Leitungswiderſtand der Metalle und Flüſſigkeiten, galvaniſche Polariſation und Paſſivität.

Um nach der Ohm'ſchen Formel die Stromſtärke in gegebenen Fäl- 128
len berechnen zu können, reicht es nicht hin, die Conſtanten des Elektromotors zu kennen, man muß auch den Leitungswiderſtand der feſten Leiter kennen, welche in den Schließungsbogen eingeſchaltet ſind, und falls der Strom auch eine Zerſetzungszelle zu durchlaufen hat, außer dem Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten auch die an den Elektroden auftretende elektromotoriſche Gegenkraft, die ſogenannte galvaniſche Polariſation. Die Leitung des Stromes hängt aber bekanntlich außer den Dimenſionen der Körper auch von ihrem ſpecifiſchen Leitungsvermögen ab, welches wir zunächſt betrachten wollen.

Leitungswiderſtand der Metalle. Nach der Wheatſtone'ſchen 129
Methode hat Buff den Leitungswiderſtand einiger Metalle beſtimmt wie folgt (Jahresbericht von Liebig und Kopp für 1847 und 1848 Seite 286.):

Silber	0,954
Kupfer, chemiſch rein .	1
Kupfer des Handels	
erſte Sorte . . .	1,170
zweite Sorte . .	1,507
Neuſilber	11,833.

Buff hat bei ſeinen Angaben den Leitungswiderſtand des Silbers zur Einheit genommen; weil wir aber alle Widerſtände mit Kupferdraht vergleichen, ſo habe ich Buff's Angabe auf dieſes Metall reducirt.

Um den abſoluten Werth des Leitungswiderſtandes eines Drahtes von dieſen Verhältnißzahlen zu unterſcheiden, ſchlage ich vor, dieſe den ſpeci-

ſiſchen Leitungswiderſtand zu nennen. Der ſpecifiſche Leitungswiederſtand eines Metalls iſt die Zahl, welche angiebt, um wie viel mal ſein Leitungswiderſtand größer iſt, als der eines Kupferdrahts von gleichen Dimenſionen. Bezeichnen wir mit s den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand eines Metalles, ſo iſt der abſolute Leitungswiderſtand w eines Drahtes von der Länge l und dem Radius r

$$w = s \frac{l \,.\, 0{,}785}{\pi r^2}.$$

Der *ſpecifiſche Leitungswiderſtand* iſt daſſelbe, was Rieß die elektriſche *Verzögerungskraft* nennt; der reciproke Werth des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes wurde bisher mit dem Namen der *Leitungsfähigkeit* bezeichnet. Es ſcheint aber in der That zweckmäßig, ſtatt der Zahlenwerthe für die Leitungsfähigkeit die des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes in Anwendung zu bringen.

Die von Buff beſtimmten Zahlenwerthe für den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand von Silber, Kupfer und Neuſilber, welche oben mitgetheilt wurden, dürften wohl vorzugsweiſe großes Zutrauen verdienen, weil ſie mit großer Sorgfalt und, worauf ich noch ganz beſondern Werth lege, *nach einer einfachen und directen Methode* ermittelt wurden, welche deſſen ungeachtet der größten Genauigkeit fähig iſt. Das Silber war eigens zu dieſem Zwecke im chemiſchen Laboratorium zu Gießen dargeſtellt worden. Das reine Kupfer war mit großer Sorgfalt auf galvaniſchem Wege bereitet, aber dennoch nicht ganz frei von Eiſen, indem es einer chemiſchen Analyſe zufolge nach 0,02 Procent dieſes Metalls enthielt. Die erſte Sorte des Handelskupfers enthielt 0,22 Procent Eiſen, die zweite Sorte neben einer Spur von Eiſen 0,2 Procent Blei und 0,26 Procent Nickel.

In der folgenden Tabelle ſind neben den Leitungswiderſtänden verſchiedener Metalle, wie ſie E. Becquerel (Ann. de chimie et de physique 3. serie XVII.242.; P. A. LXX. 243) beſtimmte, die von Rieß gefundenen geſtellt (Seite 130), und zwar den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand des Kupfers zur Einheit genommen.

	Rieß.	Becquerel.		Frick u. Müller.
		hart	geglüht	
Silber . . .	0,67	0,95	0,89	—
Kupfer . . .	1,00	1	0,97	1
Gold . . .	1,13	1,38	1,36	—
Kadmium . .	2,61	3,62	—	—
Meſſing . .	3,61	—	—	4
Zink	—	3,69	—	—
Palladium . .	5,49	6,63	—	—

	Rieß.	Becquerel.		Frick u. Müller.
		hart	geglüht	
Eisen . . .	5,66	7,44	7,30	6,4
Platin . . .	6,44	11,08	10,99	—
Zinn . . .	6,80	6,52	—	—
Nickel . . .	7,69	—	—	—
Blei	9,70	10,86	—	—
Neusilber . .	11,29	—	—	13,3
Quecksilber . .	—	49,49	—	—

Die Methode, nach welcher Becquerel diese Zahlen erhalten hat, ist im Wesentlichen folgende. Sein Galvanometer, welches er Differenzialgalvanometer nennt, ist durch zwei ganz gleiche neben einander herlaufende gesonderte Drähte gebildet, jeder ist 3 Meter lang. Die Enden der beiden Multiplicatorwindungen werden nun so mit dem Elektromotor verknüpft, daß der Strom in beiden Gewinden eine entgegengesetzte Richtung hat, daß also nur die Differenz der beiden Stromstärken zur Wirkung kommt. In dem einen Schließungsbogen ist nun ein Rheostat eingeschaltet, vermittelst dessen man den Widerstand der beiden Schließungsbogen vollkommen gleich machen kann, so daß die Galvanometernadel auf dem Nullpunkt stehen bleibt. Schaltet man nun in den andern Schließungsbogen den zu bestimmenden Draht ein, so muß man, um die Galvanometernadel auf dem Nullpunkt zu erhalten, mittelst des Rheostats eine dem Widerstande nach äquivalente Anzahl von Rheostatenwindungen dem schon vorhandenen Widerstand hinzufügen. Man erhält auf diese Weise den Widerstand des Drahtes zunächst in Rheostatenwindungen ausgedrückt.

Man übersieht leicht, daß diese Methode im Wesentlichen auf die Anwendung des Wheatstone'schen Differenzialwiderstandsmessers herauskommt, welche jedoch den großen Vortheil hat, daß man dazu jedes gewöhnliche Galvananometer brauchen kann, während die Becquerel'sche Methode ein eigens construirtes Galvanometer erfordert.

Das Silber, welches Becquerel zu seinen Versuchen anwandte, war aus Chlorsilber reducirt, das Kupfer war elektrochemisch gefällt und geschmolzen.

Die Zahlen der letzten Columne sind aus Versuchen berechnet, welche Frick und ich gemeinschaftlich nach der Wheatstone'schen Methode anstellten. Das Kupfer war galvanisch niedergeschlagen.

Die meisten Versuche gaben für das Silber einen dem Kupfer sehr nahen Leitungswiderstand, während Rieß sowohl als schon früher Lenz ihn bedeutend geringer fanden; von einer Verunreinigung des Silbers kann dieser auffallende Unterschied nicht herrühren, denn eine solche würde den Leitungswiderstand vergrößern und nicht verkleinern.

Nach den Meſſungen von Lenz (P. A. XLIV. 345.) iſt der Leitungswiderſtand des

Antimons . .	11,23
Queckſilbers . .	21,45
Wismuths . .	38,47

130 **Abhängigkeit des Leitungswiderſtandes der Metalle von der Temperatur.** Den Einfluß der Temperaturveränderung auf die Leitungsfähigkeit der Metalle hat Lenz unterſucht. Er berichtet darüber in Poggendorff's Annalen Band XXXIV. Seite 418 und Band XLV. Seite 105. Dem letzteren Aufſatz entnehmen wir die folgende Zuſammenſtellung ſeiner Reſultate.

	Leitungsfähigkeit für Elektricität bei		
	0	100°	200°
Silber	136,25	94,45	68,72
Kupfer	100,00	73,00	54,82
Gold	79,79	65,20	54,49
Zinn	30,84	20,44	14,78
Meſſing	29,33	24,78	21,45
Eiſen	17,74	10,87	7,00
Blei	14,62	9,61	6,76
Platin	14,16	10,93	9,00.

Aus dieſer Tabelle erſieht man ſehr anſchaulich, wie ſtark der Einfluß der Wärme auf die Leitungsfähigkeit der Metalle, und ferner, wie ungleich dieſer Einfluß bei den verſchiedenen Metallen iſt. So haben z. B. bei 100° die letzten fünf Metalle ihre gegenſeitige Stelle in der Ordnung der Leitungsfähigkeiten ſchon ganz geändert; das Blei iſt das am ſchlechteſten leitende Metall geworden; das Platin iſt ſogar über das Eiſen hinaufgerückt; das Meſſing leitet beſſer wie Zinn, welches bei 0° in dieſer Hinſicht über ihm ſteht. Bei 200° iſt die Reihenfolge zwar noch dieſelbe geblieben wie bei 100°, indeſſen ſind ſich hier Kupfer und Gold faſt ganz gleich geworden, ſo daß das Gold in noch höherer Temperatur beſſer leitend werden muß als Kupfer.

In Betreff der Art und Weiſe, wie Lenz zu obigen Zahlenwerthen gekommen iſt, ſind noch einige Bemerkungen zu machen. Der Strom, deſſen er ſich bediente, war ein magnetoelektriſcher, in deſſen Schließungsbogen ein Multiplicator abwechſelnd mit und ohne den zu beſtimmenden Draht eingeſchaltet war. Dieſer Draht war ſpiralförmig aufgewunden, jedoch ſo, daß ſich die einzelnen Windungen nicht berührten, und in ein Oelbad gelegt, welches durch eine Weingeiſtlampe auf conſtanter Temperatur erhalten wurde. Die Leitungsfähigkeit des Drahtes wurde nun für eine

Reihe (meist 10 bis 15) verschiedener Temperaturen des Oelbades ermittelt und dann mittelst der verschiedenen zusammengehörigen Werthe der Leitungsfähigkeit g und der Temperatur t die wahrscheinlichsten Werthe der constanten Factoren der Gleichung

$$g = a + bt + ct^2$$

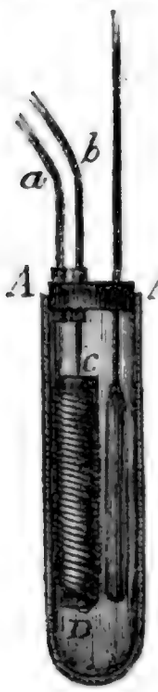
bestimmt. Es ergaben sich auf diese Weise zur Berechnung der Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle folgende Gleichungen:

für Silber $g = 136{,}25 - 0{,}4984t + 0{,}000804t^2$
» Kupfer $g = 100{,}00 - 0{,}3137t + 0{,}000437t^2$
» Gold $g = 79{,}79 - 0{,}1703t + 0{,}000244t^2$
» Zinn $g = 30{,}84 - 0{,}1277t + 0{,}000273t^2$
» Messing $g = 29{,}33 - 0{,}0517t + 0{,}000061t^2$
» Eisen $g = 17{,}74 - 0{,}0837t + 0{,}000150t^2$
» Blei $g = 14{,}62 - 0{,}0608t + 0{,}000107t^2$
» Platin $g = 14{,}16 - 0{,}0389t + 0{,}000066t^2$.

Diese Formeln, nach welchen die obige Tabelle berechnet wurde, schließen sich den Beobachtungen sehr gut an.

Auch E. Becquerel hat das Verhältniß der Leitungsfähigkeit der Metalle zur Temperatur untersucht, und in dem schon oben Seite 306 citirten Aufsatz publicirt.

Fig. 107.



Die Art und Weise, wie Becquerel seine Drähte einer höhern Temperatur aussetzte, ist folgende: der Metalldraht, der zum Versuch dienen soll, wird auf einer Glasröhre CD, Fig. 107, von 1 Centimeter Durchmesser und 5 bis 6 Centimeter Länge, so aufgewunden, daß sich die einzelnen Windungen nicht berühren. Wenn der Draht mehr als eine Lage bildet, so wird diese mit Seide bedeckt und dann erst die Windungen der zweiten Lage aufgewickelt. Damit sich die Drahtwindungen nicht aufrollen können, werden sie mit Seide befestigt. Die beiden Enden des aufgewundenen Drahtes werden nun an die untern Enden der dicken Kupferdrahtstücke a und b befestigt, deren Widerstand man vernachlässigen kann. Eines der Stäbchen, nämlich a, ist an dem obern Ende der Glasröhre CD befestigt, das andere E geht im Innern dieser Röhre herab. Die so bewickelte Glasröhre wird nun in ein mit Oel gefülltes Proberöhrchen gesteckt. Die beiden Stäbchen a und b gehen durch zwei kleine Röhrchen hindurch, welche in dem Kork $A\,A'$ stecken, durch welchen die Röhre CD in der Mitte des Oels gehalten wird. Ein Thermometer mit langem Gefäß dient zur Messung der Temperatur des Oels.

Das Oel wurde durch Eintauchen des Proberöhrchens in ein Wasserbad

erwärmt, Becquerel's Meſſungen gingen alſo nicht über den Siedpunkt des Waſſers hinaus.

Becquerel zieht aus ſeinen Beobachtungen den Schluß, daß die Abnahme des Leitungsvermögens der Zunahme der Temperatur proportional ſei!

Demnach muß der Leitungswiderſtand eines Metalls für jeden Temperaturgrad um gleichviel wachſen; die folgende Tabelle giebt an, um den wie vielten Theil ſeines Leitungswiderſtandes bei 0°, der Leitungswiderſtand eines Metalles für jeden Temperaturgrad währt.

Silber .	0,0040	Platin .	0,0019
Blei . .	0,0043	Zink . .	0,0037
Gold .	0,0034	Kadmium	0,0040
Eiſen .	0,0047	Zinn . .	0,0062
Kupfer .	0,0041	Queckſilber	0,0010.

Danach berechnet Becquerel eine Tabelle für die Leitungsfähigkeit dieſer Metalle bei 0 und 100°, in welcher aber die Leitungsfähigkeit des Silbers bei 0° gleich 100 geſetzt wird; um die Vergleichung mit den Lenz'ſchen Reſultaten zu erleichtern, habe ich jedoch dieſe Tabelle für Kupfer = 100 umgerechnet.

	bei 0°	bei 100°	Diff.
Silber	109,3	77,9	31,4
Kupfer	100,0	70,9	29,1
Gold	71,0	52,6	18,4
Kadmium	26,8	19,1	7,7
Zink	26,2	19,2	7,0
Zinn	15,3	9,4	5,9
Eiſen	13,5	9,2	4,3
Blei	9,0	6,3	2,7
Platin	8,6	7,3	1,3
Queckſilber	1,9	1,7	0,2.

Wie man ſieht, iſt nirgends einige Uebereinſtimmung mit den Reſultaten von Lenz, ſowohl was die Leitungsfähigkeit der Metalle bei 0° betrifft, als auch in Anſehung der Abnahme derſelben bei wachſender Temperatur. Wäre das von Becquerel aufgeſtellte Geſetz richtig, ſo müßten in den Gleichungen auf Seite 309 die Factoren von t^2 gleich Null, die Factoren t aber ſollten, mit 100 multiplicirt, den Differenzen der letzten Tabelle gleich ſein.

Zuletzt hat ſich Müller in Halle mit dieſem Gegenſtand beſchäftigt (P. A. LXXIII. 434.) in der Abſicht, nachzuweiſen, daß wohl eine Abhängigkeit beſtehe zwiſchen der Zunahme des ſpecifiſchen Leitungswiderſtandes und der Zunahme der ſpecifiſchen Wärme. Er legt hierbei, was den

Leitungswiderstand betrifft, die Messungen von Lenz zu Grunde; zur Bestätigung dieser Zahlen stellte er selbst eine Versuchsreihe mit Eisendraht an, deren Resultate gut zu den Lenz'schen passen. Die Zunahme, welche der Leitungswiderstand von Zink und Quecksilber bei wachsender Temperatur erleidet und welche Lenz nicht bestimmt hatte, fand Müller ziemlich nahe der Temperaturzunahme proportional.

Die specifische Wärme bei verschiedenen Temperaturen betreffend, so legt Müller die Bestimmungen von Dulong und Petit zu Grunde mit der Annahme, daß die Zunahme der specifischen Wärme dem Wachsthum der Temperaturzunahme proportional sei. — Ob das wahr ist oder nicht, wollen wir dahingestellt sein lassen, wäre es aber der Fall, so wäre gerade das Gegentheil von dem bewiesen, was Müller darthun will, denn nach den Bestimmungen von Lenz ist die Zunahme des Leitungswiderstandes der Temperaturzunahme nicht proportional; mit Becquerel's Messungen würde sich die Müller'sche Hypothese vielleicht eher vertragen.

Müller vergleicht nun den Wachsthum der specifischen Wärme von Quecksilber, Platin, Kupfer, Zink, Silber und Eisen mit der entsprechenden Zunahme des Leitungswiderstandes; die Harmonie, welche sich dabei herausstellt, ist nicht sonderlich; dies entscheidet aber, nach Müller's Meinung, nichts gegen seine Annahme der Abhängigkeit der Zunahme des Leitungswiderstandes von der specifischen Wärme, weil die Bestimmungen der specifischen Wärme für verschiedene Temperaturen bei weitem noch nicht den nöthigen Grad von Genauigkeit haben. — Giebt man diesen Mangel an Genauigkeit zu, wie man wohl nicht anders kann, so muß man auch zugeben, daß es bei unserer gegenwärtigen Kenntniß der Thatsachen wenigstens ein fruchtloses Bestreben ist, eine solche Beziehung nachweisen zu wollen.

Leitungswiderstand des menschlichen Körpers. Mit diesem Ge- 131
genstand haben sich Lenz und Ptschelnikoff beschäftigt; als Elektromotor diente ihnen eine magnetoelektrische Spirale. Nach ihren Bestimmungen ist der Widerstand des menschlichen Körpers, wenn man die ganze Hand in Wasser taucht, dem $1/100$ Schwefelsäure zugesetzt ist, gleich dem von

91762

Metern Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser. Man kann dies jedenfalls nur als eine sehr grobe Annäherung betrachten und deshalb dürfte wohl auch die Beschreibung der Einzelnheiten der Versuche hier unnöthig sein.

Pouillet hat früher (P. A. XLII. 305) den Widerstand des Körpers zu

49082

Metern Normaldraht bestimmt. —

Wenn diese Zahlen auch sehr ungenau sein mögen, so zeigen sie uns doch, daß der Leitungswiderstand des Körpers sehr groß ist, und daß also die

Stromstärke derjenigen Ströme, welche in dem Körper die physiologischen Effecte hervorbringen, jedenfalls sehr gering ist.

Denken wir uns den menschlichen Körper in den Schließungsbogen einer Bunsen'schen Säule von 50 Bechern eingeschaltet, so ist die Stromstärke

$$\frac{50 \cdot 800}{49000} = \frac{40}{49} = 0{,}8,$$

wenn wir in runder Zahl die elektromotorische Kraft eines Bunsen'schen Elementes = 800 setzen, und den Leitungswiderstand der Säule (ungefähr 500) gegen den des eingeschalteten Körpers vernachlässigen, vorausgesetzt, daß wir für den Leitungswiderstand des Körpers die kleinere, Pouillet'sche Zahl setzen; diese Stromstärke entspricht einer Ablenkung von ungefähr $^3/_4$ Graden an unserer Tangentenbussole. Ein einziges Bunsen'sches Element, durch den Körper geschlossen, gäbe also nur eine Stromstärke $\frac{0{,}8}{50} = 0{,}016$.

Ob wohl die Stromstärke des Inductionsstroms, welcher, von einem einzigen Elemente herstammend, im menschlichen Körper so heftige Schläge hervorbringt, bedeutender ist?

132 **Galvanische Polarisation.** Ein 2, 3, 4mal so langes Drahtstück setzt dem galvanischen Strom auch einen 2, 3, 4mal so großen Leitungswiderstand entgegen; ist nun die elektromotorische Kraft der Kette und ihr Leitungswiderstand bekannt, so kann man für jede beliebige Drahteinschaltung nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke berechnen. Bezeichnen wir mit E die elektromotorische Kraft der Kette, mit R den wesentlichen Widerstand derselben, so ist, wenn r den Widerstand des Schließungsdrahtes bezeichnet, die Stromstärke

$$S \frac{E}{R + r},$$

und wenn man einen Draht von gleicher Dicke aber $n$facher Länge als Schließungsbogen anwendet, so ist die Stromstärke

$$S' = \frac{E}{R + nr}.$$

Bei Einschaltung von Flüssigkeiten ist es nicht so. Bezeichnen wir mit E und R wieder dieselben Dinge wie oben, mit w den Leitungswiderstand der Flüssigkeit in einem Voltameter, welches in dem Schließungsbogen eingeschaltet ist, so wäre

$$S = \frac{E}{R + w}$$

die Stromstärke, wenn das Ohm'sche Gesetz hier ganz in der Weise in

Anwendung käme, wie bei Metalldrähten. Bringt man die Voltameterplatten *n*mal so weit von einander, so müßte jetzt die Stromstärke

$$S' = \frac{E}{R + nw} \text{ seyn.}$$

Hat man die Stromstärke für eine gewisse Entfernung der Voltameterplatten ermittelt, so findet man sie aber für die doppelte, dreifache, vierfache Entfernung der Polplatten größer, als man nach unmittelbarer Anwendung der Ohm'schen Formel hätte erwarten sollen.

Dies ersieht man unter andern aus einer Reihe von Versuchen, welche Lenz anstellte, und die im XLIV. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 349 mitgetheilt wurden. — Ohne näher auf die Beschreibung der Beobachtungsmethoden einzugehen, deren sich Lenz bediente, mag hier die Aufführung einiger hierher gehöriger Resultate genügen.

Bei metallischer Schließung seiner Kette (der Strom war ein magnetoelektrischer) erhielt Lenz eine Stromstärke = 0,648 (nach einer willkürlichen Einheit). — Als der Strom durch eine concentrirte Auflösung von Kupfervitriol ging, in welcher zwei Kupferplatten als Elektroden eingetaucht waren, ergab sich die Stromstärke gleich

0,425,

als die Elektroden 12,6 Millimeter von einander abstanden. — Bezeichnet man den gesammten Leitungswiderstand, den der Strom im ersten Falle zu überwinden hatte, mit 1, so ist

$$\frac{E}{1} = 0{,}648 \text{ also } E = 0{,}648,$$

und wenn man den Leitungswiderstand der eingeschalteten Flüssigkeitsschicht ganz in derselben Weise berechnet, wie dies bei Drähten geschieht,

so erhält man $\frac{E}{1 + x} = 0{,}425,$

und daraus $x = 0{,}5.$

Werden die Elektroden bei sonst ganz gleichen Umständen 8mal so weit von einander entfernt, so würde man, wenn ohne weiteres das Ohm'sche Gesetz hier angewendet werden könnte wie bei Drähten, erwarten können, daß die 8mal so dicke Flüssigkeitsschicht jetzt 8mal so großen Leitungswiderstand leistet, die Stromstärke müßte jetzt sein

$$\frac{E}{1 + 8x} = \frac{0{,}648}{1 + 8.0{,}5} = \frac{0{,}648}{5} = 0{,}129,$$

während der Versuch in diesem Falle die Stromstärke 0,199 ergab.

Bei 12facher Entfernung der Polplatten hätte man nach unmittelbarer Anwendung des Ohm'schen Gesetzes die Stromstärke 0,0648 erwarten sollen, der Versuch gab 0,120.

In etwas anderer Form ergiebt sich ein gleiches Resultat aus den Ver-

ſuchen Horsford's (P. A. LXX. 238). In den Schließungsbogen einer Bunſen'ſchen Säule wurde eine Tangentenbuſſole und ein Rheoſtat eingeſchaltet; mittelſt der letztern wurde die Ablenkung der Nadel auf 10^0 zurückgebracht; nun wurde außerdem noch eine 2,5 Cent. dicke Schicht von verdünnter Schwefelſäure, zwiſchen zwei Platinplatten befindlich, eingeſchaltet; man mußte jetzt den Rheoſtaten um 32 Windungen zurückdrehen, oder mit andern Worten, man mußte 32 Windungen aus dem Schließungsbogen wegnehmen, um die Ablenkung wieder auf 10^0 zu bringen. Als nun die beiden Platinplatten in die doppelte Entfernung gebracht wurden, mußte man nicht etwa abermals 32 Windungen aus dem Schließungsbogen entfernen, um die Ablenkung auf 10^0 zu erhalten, ſondern nur 20,5 Windungen; für jede folgende Vermehrung der Dicke der flüſſigen Schicht um 2,5 Millimeter mußte dann immer wieder nur 20,5 Windungen aus dem Schließungsbogen entfernt werden, um die gleiche Ablenkung zu erhalten.

So viel ergab ſich aus allen meſſenden Verſuchen der Art, daß die Schwächung der Stromſtärke, welche eintritt, wenn man eine Zerſetzungszelle in den Schließungsbogen einer Kette einſchaltet, nicht allein von dem eigentlichen Leitungswiderſtand der Flüſſigkeit herrühren kann, ſondern daß noch eine weitere Urſache vermindernd auf die Stromſtärke wirkt, die aber nicht mit der Dicke der Schicht zunimmt, ſondern von derſelben unabhängig erſcheint.

Fechner ſchrieb dies einem ſogenannten »Uebergangswiderſtande« zu, welcher an der Berührungsfläche zwiſchen den Metallplatten und der Flüſſigkeit wirken ſollte, er ſtellte ſich alſo vor, daß der Strom außer dem Widerſtande der Flüſſigkeit ſelbſt noch einen beſondern Widerſtand an den Polplatten der Zerſetzungszelle zu überwinden habe, den wir mit u bezeichnen wollen. Wenn nun bei einer beſtimmten Dicke der flüſſigen Schicht die Stromſtärke

$$S = \frac{E}{R + u + w} \quad \ldots . 1)$$

iſt, ſo wird für eine $n$mal dickere Schicht die Stromſtärke nach der Fechner'ſchen Anſicht

$$S' = \frac{E}{R + u + nw} \quad \ldots . 2)$$

ſeyn. Dieſe Fechner'ſche Hypotheſe vom Uebergangswiderſtand vertrat Anfangs auch Poggendorff. In dem ſchon oben citirten Aufſatze von Lenz hat dieſer gezeigt, daß ſich die Stärke des Stromes, welcher durch eine Flüſſigkeit hindurchgeht, nach der Formel 2) berechnen läßt, und glaubt dadurch die Exiſtenz des Uebergangswiderſtandes bewieſen zu haben.

Ohm, Vorselmann de Heer und andere Physiker sprachen sich gegen diese Hypothese eines Uebergangswiderstandes aus, und schrieben die erwähnten Anomalien einer galvanischen Polarisation der Voltameterplatten zu, welche der elektromotorischen Kraft der Kette entgegenwirkt. Bezeichnet E die elektromotorische Kraft der Kette, so wäre dieser Ansicht zu Folge nach Einschaltung eines Voltameters die Stromstärke

$$S = \frac{E - e}{R + w} \quad \ldots . \; 3)$$

wenn e die elektromotorische Gegenkraft im Voltameter bezeichnet, während alle übrigen Buchstaben ihre frühere Bedeutung behalten.

Bei einer $n$fachen Entfernung der Voltameterplatten wäre dieser Ansicht nach die Stromstärke

$$S' = \frac{E - e}{R + nw} \quad \ldots . \; 4).$$

Im LIX. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 229 bespricht Lenz diesen Gegenstand abermals. Eine neue Reihe von Versuchen über die Stromstärke bei eingeschalteten Voltametern vergleicht er sowohl mit der Formel 1) als auch mit 3), und findet, daß beide den Beobachtungen genügen, daß man sowohl durch die Hypothese eines Uebergangswiderstandes, als auch durch die Hypothese einer elektromotorischen Gegenkraft an den Elektroden die durch das Voltameter bewirkten Veränderungen der Stromstärke mit dem Ohm'schen Gesetz in Uebereinstimmung bringen kann.

Diese Untersuchung von Lenz läßt also die Frage unentschieden, während er sich dahin ausspricht, daß er die galvanische Polarisation für wahrscheinlicher halte als den Uebergangswiderstand.

In der Form, wie Lenz seine Versuche combinirt, konnte freilich keine Entscheidung erwartet werden, die bei einer etwas andern Betrachtungsweise des Gegenstandes nicht hätte fehlen können. Man braucht ganz einfach nur die elektromotorische Kraft einer Säule einmal bei metallischer Schließung und dann bei eingeschaltetem Voltameter zu bestimmen, um zu erfahren, ob im Voltameter eine elektromotorische Gegenkraft auftritt oder nicht.

Eine Versuchsreihe, die ich zu dem Zwecke anstellte, die Lösung der Frage recht anschaulich zu machen, gab folgende Resultate:

Sechs Zinkkohlenelemente wurden zur Säule verbunden. Die in den Schließungsbogen eingeschaltete Tangentenbussole gab

für die Einschaltung 0 . . . . . 46° Ablenkung
» » » 49 Meter Normaldraht 30° »

und daraus ergiebt ſich für die elektromotoriſche Kraft der Säule der Werth

$$E = 4366.$$

Ein ähnlicher Verſuch, bei welchem ein Meſſingdraht eingeſchaltet wurde, welche 29,2 Metern Normaldraht gleichzuſetzen iſt, gab

$$E = 4479,$$

alſo im Mittel

$$E = 4422.$$

Nun wurde ein Voltameter eingeſchaltet. Ohne weitere Einſchaltung war jetzt die Ablenkung

$$31{,}8^0.$$

Als noch ein Eiſendraht eingeſchaltet wurde, deſſen Widerſtand gleich dem von 49 Metern Normaldraht iſt,

$$20{,}6^0,$$

und daraus

$$E' = 3320.$$

Der Verſuch nach Vertauſchung dieſes Eiſendrahtes mit obigem Meſſingdraht (29,2 M. Normaldraht) gab

$$E = 3520,$$

alſo im Mittel

$$E' = 3420.$$

Dieſe Verſuche zeigen klar, daß durch Einſchaltung des Voltameters die elektromotoriſche Kraft vermindert, und zwar bedeutend vermindert wird, denn es iſt

$$e = E - E' = 1000.$$

Wenn alſo eine Zerſetzungszelle in den Schließungsbogen eingeſchaltet wird, ſo wirken zweierlei Urſachen vermindernd auf die Stromſtärke; erſtens iſt die elektromotoriſche Kraft, welche der Strom in Bewegung ſetzt, vermindert, und zweitens iſt der Leitungswiderſtand vermehrt. Die Stromſtärke iſt in dieſem Falle alſo nach der Formel

$$S = \frac{E - e}{R + w}$$

zu berechnen.

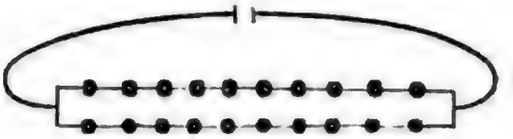
Daniell war meines Wiſſens der Erſte, welcher die Exiſtenz der galvaniſchen Polariſation lediglich durch die Anwendung des Ohmiſchen Geſetzes nachgewieſen hat (P. A. LX. 387. Phil. Transact. f. 1842 pt. II.), und zwar auf eine ſehr ſinnreiche Art, ohne ein anderes Meßinſtrument in Anwendung zu bringen, als das Voltameter ſelbſt.

In den Schließungsbogen einer Säule von 5 Daniell'ſchen Elementen wurde ein Voltameter eingeſchaltet, wie Fig. 108 angedeutet iſt; es lieferte 6 Kubikzoll Knallgas in 5 Minuten. Wäre keine elektromo-

motorische Gegenkraft vorhanden, so müßte dasselbe Voltameter in den

Fig. 108.

Fig. 109.



Schließungsbogen von 10 Doppelelementen gebracht, Fig. 109, die doppelte Gasmenge in derselben Zeit liefern, denn im ersten Falle wäre die Stromstärke

$$\frac{5E}{5R + r'}$$

im zweiten

$$\frac{10E}{{}^{10}/_{2}\,R + r} = \frac{10E}{5R + r'},$$

man müßte also im letztern Falle 12 Kubikzoll Gas in 5 Minuten erhalten; der Versuch gab aber nicht 12, sondern er lieferte 20 Kubikzoll Gas. Setzen wir aber die elektromotorische Gegenkraft gleich e, so haben wir im ersten Falle

$$\frac{5E - e}{5R + r} = 6,$$

im zweiten

$$\frac{10E - e}{5R + r} = 20,$$

also

$$\frac{10E - e}{5E - e} = {}^{20}/_{6},$$

und daraus

$$e = 2{,}857\ E.$$

Die Versuche mit dem Voltameter genügen also nicht allein, um die Existenz der elektromotorischen Gegenkraft darzuthun, sondern auch um die Größe derselben zu bestimmen.

Leitungswiderstand der Flüssigkeiten. Um den eigentlichen Lei- 133
tungswiderstand der Flüssigkeiten zu bestimmen, muß man durchaus den Einfluß der galvanischen Polarisation in Rechnung bringen; die Unkenntniß und Vernachlässigung derselben verursachte es, daß alle frühern Versuche, den specifischen Leitungswiderstand der Flüssigkeiten zu ermitteln, durchaus widersprechende Resultate lieferten.

Lenz hat zuerst den specifischen Leitungswiderstand einer Lösung von Kupfervitriol rein von den Einflüssen der Polarisation zu ermitteln gesucht, und dafür den Werth

gefunden, d. h. eine Löſung von Kupfervitriol, welche in Form einer flüſſigen Säule an beiden Enden von Metallplatten begränzt, in den Schließungsbogen der Säule eingeſchaltet wird, leiſtet dem galvaniſchen Strom einen 6857500mal größeren Leitungswiderſtand, als eine Kupferſäule von gleichen Dimenſionen (P. A XLIV. 349).

Wheatſtone gab eine treffliche Methode an, um den Leitungswiderſtand der Flüſſigkeiten unabhängig von der Polariſation zu ermitteln. Eine Glasröhre von 2 Zoll Länge und ungefähr ½ Zoll innerm Durchmeſſer iſt (Fig. 110) auf dem größeren Theil ihrer Länge oben offen, indem ¼ des Umfangs weggeſchliffen iſt, ſo daß noch ein Segment von 270° übrig bleibt; an einem Ende der Röhre iſt ein Metallſtöpſel befeſtigt, der mit einer Platinplatte endigt; von der anderen Seite her kann ein beweglicher Stempel, welcher ebenfalls mit einer Platinplatte endigt, bis auf ¼ Zoll der feſten Platinplatte genähert und bis auf ⅝ Zoll von ihr entfernt werden.

Fig. 110.

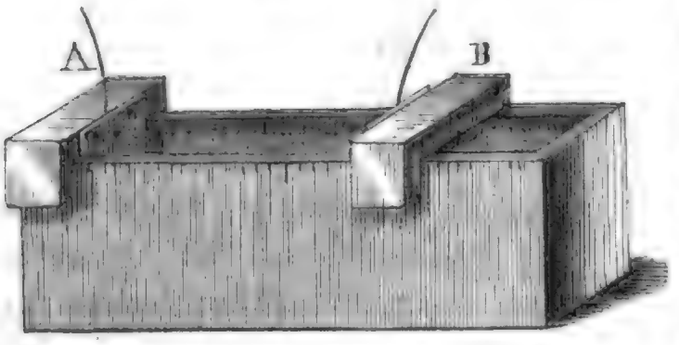
Um den Widerſtand einer Flüſſigkeit zu meſſen, wird nun dieſe Meßröhre mit dem Galvanometer und dem Rheoſtaten in den Schließungsbogen einer conſtanten Säule von etwa 3 Bechern eingeſchaltet. Während die beiden Platinplatten der Röhre ¼ Zoll weit von einander abſtehen, wird der Zwiſchenraum mit der Flüſſigkeit gefüllt, deren Widerſtand gemeſſen werden ſoll, und dann mittelſt des Rheoſtaten die Ablenkung der Nadel des Multiplicators auf einen beſtimmten Punkt gebracht. Nun wird der Stempel um 1 Zoll zurückgezogen, und das ganze wieder mit Flüſſigkeit gefüllt; natürlich iſt jetzt die Nadel des Galvanometers zurückgegangen; um ſie wieder auf ihren urſprünglichen Stand zu bringen, verringert man den Widerſtand der Kette mittelſt des Rheoſtaten und der Widerſtandsrollen*), bis die Nadel wieder auf ihrem früheren Punkte ſteht. Die reducirte Länge des ſonach aus der Kette gebrachten Drahtes iſt das Maaß für den Widerſtand von 1 Zoll der Flüſſigkeit; der Einfluß der Polariſation iſt durch die Art des Verſuchs ſelbſt ſchon eliminirt.

*) Wenn die nothwendigen Veränderungen des Leitungswiderſtandes über die Gränzen des Rheoſtaten hinausgehen, ſo hilft man ſich durch Einſchalten oder Wegnehmen von Drahtrollen (dünnen Draht in die feinen Schraubengänge eines trocknen Holzcylinders aufgewunden), deren Leitungswiderſtand bekannt iſt. Durch Hinzufügen oder Wegnehmen ſolcher Widerſtandsrollen werden dann die bedeutenderen, durch den Rheoſtaten die kleineren Veränderungen des Leitungswiderſtandes bewerkſtelligt.

Auf demselben Princip beruhen auch die Vorrichtungen, welche Horsford und Becquerel anwandten, um den Widerstand der Flüssigkeiten zu messen.

Zur Aufnahme der Flüssigkeit wandte Horsford (P. A. LXX. 238) einen viereckigen Trog von festem, dichtem Holze an (Fig. 111), welche 3 Decimeter lang und $7\frac{1}{2}$ Centimeter breit und tief war; im Innern war er mit Schellackfirniß dick überzogen, um das Eindringen der Flüssigkeit zu verhindern oder doch möglichst zu verzögern. Auf diesem Troge liegen zwei Holzstücke, von denen das eine *A* festsitzt, während das andere *B* wie ein Schlitten hin und her geschoben werden kann. Diese Querstücke dienen, um die in die Flüssigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Belieben ihren Abstand zu ändern. Die Platten von gleicher Größe, wie der Querschnitt des Kastens, werden an Kupferstreifen festgeklemmt, welche ihrerseits wieder an die Querstücke angeschraubt sind.

Fig. 111.



Der mit der Flüssigkeit gefüllte Trog wird nun mit dem Rheostaten und der Tangentenbussole in den Schließungsbogen einer Säule von mehr oder weniger Bechern gebracht, je nachdem die Umstände eine größere oder geringere elektromotorische Kraft erfordern. Der Gang des Versuchs ist ähnlich wie ihn Wheatstone angiebt.

Horsford's Anordnung hat mehrere Vortheile. 1) Kann man Messungen auf eine größere Anzahl verschiedener Abstände der beiden Platten ausdehnen; 2) kann man leicht Platten verschiedener Metalle einsetzen, und 3) kann man Versuche bei verschiedener Anfüllungshöhe des Troges anstellen.

Zunächst hat Horsford gezeigt, daß Flüssigkeitssäulen in Beziehung auf Leitungswiderstand ganz dieselben Gesetze befolgen wie Metalldrähte, d. h. daß sich der Widerstand direct wie die Länge und umgekehrt wie der Querschnitt der flüssigen Schicht verhält.

Der Trog wurde mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, die Platten in 2,5 Centimeter Entfernung gebracht, und der Gesammtwiderstand so regulirt, daß die Nadel der Bussole auf einem bestimmten Punkte (etwa 20^0) stand.

Die folgende Tabelle giebt nun an, und zwar in der zweiten Columne, wieviel Rheostatenwindungen (von Neusilberdraht) man aus dem

Schließungsbogen herausnehmen mußte, um die Buſſolennadel auf derſelben Stelle zu erhalten, wenn der Abſtand der Platten (bei unveränderter Anfüllungshöhe des Troges, nämlich 2,75 Centimeter) um die in der erſten Columne ſtehenden Werthe vergrößert wurden.

Centimeter	
2,5	2,11
5,0	4,25
7,5	6,98
12,5	10,75
25,0	20,67.

Wie man ſieht, behalten die entſprechenden Zahlen der beiden Columnen ſehr nahe daſſelbe Verhältniß, der Widerſtand der Flüſſigkeitsſäule iſt alſo wirklich ihrer Länge proportional. Im Durchſchnitt erhält man aus dieſem Verſuch für den Widerſtand einer 5 Centimeter langen Flüſſigkeitsſchicht den Werth von 4,3 Rheoſtatenwindungen.

Als der Trog bis zu einer Höhe von 4,8 Centimetern angefüllt wurde, ergab ſich aus einer gleichen Verſuchsreihe für den Widerſtand einer 5 Centimeter langen Flüſſigkeitsſäule (natürlich dieſelbe verdünnte Säure) der Werth von 2,56 Rheoſtatenwindungen.

Da nun die Anfüllungshöhe 2,75 und 4,8 ſich nahezu umgekehrt verhalten wie die entſprechenden Widerſtände 4,3 und 2,56 (wir haben nämlich $2{,}75 : 4{,}8 = 2{,}56 : 4{,}46$), ſo ſteht alſo der Leitungswiderſtand der flüſſigen Säule im umgekehrten Verhältniſſe ihres Querſchnitts.

Die folgende Tabelle enthält die von Horsford ermittelten Werthe für den ſpecifiſchen Leitungswiderſtand verſchiedener Flüſſigkeiten.

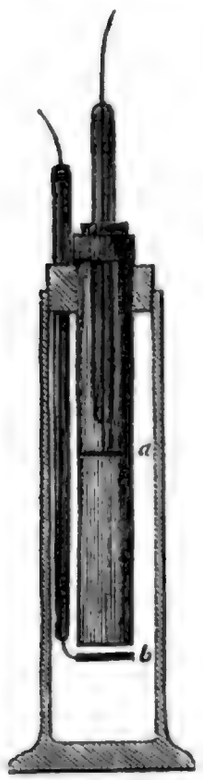
Namen und Beſchaffenheit der Flüſſigkeit.	Spec. Leitungswiderſtand der des Silbers = 1.
Schwefelſäure von 1,10 ſpec. Gew.	938500
» » 1,15 » »	840500
» » 1,20 » »	696700
» » 1,24 » »	696700
» » 1,30 » »	696700
» » 1,4 » »	1023400
Chlornatriumlöſ. 27,6 Grm. in 500 C.C. Waſſer	7157000
» 21,3 » » » » » .	9542000
» 10,65 » » » » » .	18460000
» 5,325 » » » » » .	34110000
Chlorkaliumlöſ. 27,7 » » » » » .	7168000
Kupfervitriollöſung, wovon 100 C.C. 15,093 Grm. Salz enthalten	12058000

Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit.	Spec. Leitungswiderstand der des Silbers = 1.
Dieselbe Salzmenge im doppelten Volum Wasser	17490000
Zinkvitriollösung, wovon 100 C.C. 7,2587 Grm. Salz enthalten	23515000.

Die genannten Flüssigkeiten waren chemisch rein.

Die Fig. 112 stellt den Apparat dar, welchen Becquerel zur Messung des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten anwandte (Annales de chimie et de physique. 3. serie. XVII. 242). Die Einrichtung derselben bedarf wohl kaum einer weitern Erklärung. Die Metallplatte *a* läßt sich in einer Glasröhre auf- und abschieben, an deren unterm Ende sich die Metallplatte *b* befindet, es ist also die Flüssigkeitssäule zwischen *a* und *b*, welche der Strom zu durchlaufen hat. Damit keine Seitenströmung entsteht, sind die Zuleitungsdrähte der Platten *a* und *b* in Glasröhren eingekittet.

Fig. 112.



Auch hier bringt Becquerel wieder das Differenzial-Galvanometer in Anwendung; in jedem der beiden Schließungsbogen schaltet er einen Apparat, wie der Fig. 112, ein. Dadurch, daß er in dem einen die Platte *a* hebt oder senkt, bringt er es dahin, daß die Multiplicatornadel auf 0 zu stehen kommt.

Wird nun in dem einen Schließungsbogen eine Drahtspirale von bekanntem Leitungswiderstand eingeschaltet, so weicht die Nadel ab, und man muß die Flüssigkeitssäule desselben Schließungsbogens verkürzen, um die Nadel wieder auf 0 zurückzubringen. Auf diese Weise mittelt man die Höhe der Flüssigkeitssäule aus, welche gleichen Leitungswiderstand ausübt, wie die eingeschaltete Drahtspirale. — Es versteht sich von selbst, daß Vorrichtungen getroffen sind, um die Hebung und Senkung der Platte *a* genau zu messen; doch können wir hier auf die Beschreibung derselben nicht eingehen.

Nach dieser Methode fand Becquerel folgende Werthe für den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Flüssigkeiten, den des Silbers gleich 1 gesetzt:

Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	18450000
» » » Kochsalz	3173000
» » » salpetersaurem Kupfer .	11120000
» » » schwefelsaurem Zink .	17330000
Verdünnte Schwefelsäure (220 C.C. Wasser + 20 C.C. Schwefelsäure mit 1 Atom Wasser)	1128000
Käufliche Salpetersäure von 36° B.	1606000

In Betreff des Einflusses, welchen der Concentrationsgrad der Lösungen ausübt, fand Becquerel folgende Resultate:

Schwefelsaures Kupferoxyd.	Widerstand.
Gesättigte Lösung	18450000
Verdünnt zum 2fachen Volumen . . .	28820000
» » 4fachen Volumen . . .	48080000
Kochsalz.	
Gesättigte Lösung	3173000
Verdünnt zum 2fachen Volumen . . .	4333000
» » 3fachen Volumen . . .	5721000
» » 4fachen Volumen . . .	7864000.

132 **Berechnung der Stromstärke bei eingeschaltetem Voltameter.** Nachdem nun der Widerstand der Flüssigkeiten und die Größe der galvanischen Polarisation (wenigstens annähernd) bekannt ist, kann man leicht für eine gegebene Combination die Stromstärke berechnen. Es sey z. B. ein Voltameter, dessen Platten 25 Quadrat-Centimeter (2500 Quadrat-Millimeter) Oberfläche (auf jeder Seite) haben und die 1 Centimeter (0,01 Meter) weit von einander abstehen, mit verdünnter Schwefelsäure von 1,4 spec. Gew. gefüllt, so ist der Widerstand der flüssigen Säule im Voltameter $1023400 \frac{0{,}01 \,.\, 0{,}785}{2500} = 32$, also die Stromstärke $\frac{E - 1000}{R + 32}$, wenn wir mit E die elektromotorische Kraft und mit R den gesammten Widerstand der Säule bezeichnen, und für die Polarisation den auf Seite 316 angegebenen Näherungswerth 1000 nehmen.

Wenn ein Voltameter in den Schließungsbogen einer Säule eingeschaltet ist, so gilt der Satz nicht mehr, daß man ein Maximum von Stromstärke erhält, wenn die gegebene Anzahl von Bechern so angeordnet wird, daß der Widerstand der Säule dem Widerstand des Schließungsbogens gleich ist, weil die Voraussetzung, von welcher man bei der Beweisführung auf Seite 290 ausging, daß nämlich bei verschiedenen Combinationen derselben Anzahl von Bechern die Widerstände sich dem Quadrat der elektromotorischen Kraft proportional ändern, wegen der Polarisation im Voltameter nicht mehr stattfindet. Das Maximum des Effectes findet sich nach der Seite derjenigen Combinationen verrückt, bei welchen mehr Becher hintereinander und weniger nebeneinander stehen.

Daß eine Verrückung des Maximums nach dieser Seite stattfinden muß, läßt sich leicht übersehen, wenn wir von einem speciellen Beispiel ausgehen. In die verschiedenen auf Seite 288 betrachteten Combinationen von 24 Bechern, und zwar von Daniell'schen Elementen von der

Art, wie sie auf Seite 256 betrachtet wurden ($E = 470$, $R = 22$), werde ein Draht eingeschaltet, dessen Leitungswiderstand gleich 32 ist, so erhalten wir für die verschiedenen Combinationen folgende Stromstärken:

für 1) $\frac{24 \cdot 470}{24 \cdot 22 + 32} = \frac{11280}{560} = 20,$

2) $\frac{12 \cdot 470}{6 \cdot 22 + 32} = \frac{5640}{164} = 34,$

3) $\frac{8 \cdot 470}{2{,}7 \cdot 22 + 32} = \frac{3760}{91} = 41,$

4) $\frac{6 \cdot 470}{1{,}5 \cdot 22 + 32} = \frac{2820}{65} = 43,$

5) $\frac{4 \cdot 470}{0{,}7 \cdot 22 + 32} = \frac{1880}{47} = 40,$

6) $\frac{3 \cdot 470}{0{,}4 \cdot 22 + 32} = \frac{1410}{41} = 34.$

Wir haben hier das Maximum der Stromstärke, 43, für den Fall, wo der Widerstand der Säule $1{,}5 \cdot 22 = 33$ fast ganz gleich ist dem des Schließungsbogens. Wird nun aber statt des Metalldrahtes, dessen Widerstand 32 ist, das oben betrachtete Voltameter von gleichem Widerstande eingeschaltet, so wird die Stromstärke geringer ausfallen müssen, weil der Zähler obiger Brüche überall noch um 1000 zu verkleinern ist, es ergeben sich demnach jetzt für die verschiedenen Combinationen folgende Stromstärken:

1) $\frac{11280}{560} - \frac{1000}{560} = 20 - 2 = 18,$

2) $\frac{5640}{164} - \frac{1000}{164} = 34 - 6 = 28,$

3) $\frac{3760}{91} - \frac{1000}{91} = 41 - 11 = 30,$

4) $\frac{2820}{65} - \frac{1000}{65} = 43 - 15 = 28,$

5) $\frac{1880}{47} - \frac{1000}{47} = 40 - 21 = 19,$

6) $\frac{1410}{41} - \frac{1000}{41} = 34 - 24 = 10.$

Es ist also in der That das Maximum des Effectes von der 4ten auf die 3te Combination gerückt.

Wir ersehen aus dieser Zusammenstellung, daß unter den hier betrachteten Verhältnissen die Schwächung der Stromstärke durch die Polarisation für diejenigen Combinationen geringer wird, für welche der Gesammtwider-

ſtand größer iſt, und dadurch erklärt ſich denn auch die Verrückung des Maximums nach dieſer Seite.

Wir haben hier angenommen, daß die Größe der Polariſation ſtets dieſelbe bleibt, was freilich nicht ganz der Fall iſt, wie wir ſpäter ſehen werden, doch wird dadurch das weſentliche Reſultat dieſer Betrachtungen nicht geändert.

133 **Verminderung des Leitungswiderſtandes der Flüſſigkeiten durch die Wärme.** Während der Leitungswiderſtand der Metalle durch die Wärme vergrößert wird, wird er umgekehrt bei den Flüſſigkeiten bedeutend vermindert. Die erſten Meſſungen darüber hat Becquerel angeſtellt (Annales de Chimie et de Physique. 3. Serie. XVII. 285). Er wandte die oben Seite 321 beſchriebene Beobachtungsmethode an. Das eine der beiden Flüſſigkeitsbehälter, Fig. 112, wurde durch das Waſſerbad erwärmt, bis die Temperatur feſt ſchien; während der kurzen Dauer des Verſuchs kann man ſie dann in der That als conſtant annehmen.

Bei einer Temperatur von 14,4° fand Becquerel den Widerſtand einer geſättigten Löſung von Kupfervitriol, deren Höhe 3,88 war, gleich dem Widerſtande eines beſtimmten Platindrahtes. Bei einer Temperatur von 56° aber ergab ſich der Widerſtand deſſelben Drahtes gleich dem einer Flüſſigkeitsſäule von der Höhe 8,50.

Da eine Temperaturerhöhung von 56 — 14,4°, alſo von 41,6° nöthig iſt, um die Leitungsfähigkeit der geſättigten Löſung des Kupfervitriols im Verhältniß von 3,88 zu 8,5 zu vermehren, ſo iſt eine Temperaturerhöhung von 35° nöthig, um die Leitungsfähigkeit dieſer Flüſſigkeit zu verdoppeln, wenn man annimmt, daß die Veränderungen der Leitungsfähigkeit denen der Temperatur proportional ſind. Bei einer Temperaturerhöhung von 1° wird demnach die Leitungsfähigkeit unſerer Löſung um $1/35$ = 0,0286 ihres Werthes bei 14,4° vermehrt.

Auf dieſelbe Weiſe fand Becquerel, daß für eine Temperaturerhöhung von 1° die Leitungsfähigkeit

einer verdünnten Löſung von Zinkvitriol um . . . 0,0223,
der käuflichen Salpeterſäure um 0,0263,

ihres urſprünglichen Werthes erhöht wird.

Hankel hat eine ausgedehntere Verſuchsreihe über dieſen Gegenſtand bekannt gemacht (P. A. LXIX. 255.). Er fand den

Leitungswiderſtand einer concentrirten Kupfervitriollöſung (*A*) vom ſpec. Gew. 1,17 bei der Temperatur:

0°	11,26
11,9	7,33
31,0	4,70
66,4	3,12.

Leitungswiderstand von 108,7 Theilen der vorigen Lösung (*A*) mit 185 Theilen Wasser bei

der Temperatur:	
0°	22,87
11	15,16
25	10,5
67,4	7,1.

Leitungswiderstand einer concentrirten Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd bei

der Temperatur:	
0°	4,89
11,5	3,27
25	2,18
67,2	1,64.

Leitungswiderstand einer concentrirten Lösung (*B*) von Zinkvitriol bei

der Temperatur:	
0°	13,05
9,8	8,62
27,4	4,55
67,4	2,29.

Leitungswiderstand einer Mischung aus 71 Theilen der Lösung *B* und 116 Theilen Wasser bei

der Temperatur:	
0°	13,00
11,1	8,82
28,8	5,57
65,1	3,51.

Die Einheit, nach welcher hier die Leitungswiderstände ausgedrückt sind, ist eine willkürliche.

Die Art und Weise, wie der zu dieser Versuchsreihe angewandte Flüssigkeitsbehälter construirt war, ist mir aus Hankel's Beschreibung nicht klar geworden.

Betrachten wir nun Hankel's Resultate, so finden wir, daß die Abnahme des Leitungswiderstandes keineswegs der Zunahme der Temperatur proportional ist, wie Becquerel annahm.

Es entspricht für die concentrirte Lösung des Kupfervitriols im Durchschnitt einer Temperaturerhöhung von 1°:

zwischen den Temperaturgränzen	eine Abnahme des Leitungswiderstandes um
0 und 12°	0,327
12 » 31	0,138
31 » 66,4	0,044.

Für einen bestimmten Temperaturunterschied ist also die entspechende Veränderung in dem Leitungswiderstand der Flüssigkeiten um so größer je niedriger die Temperatur ist.

134 **Die galvanische Polarisation ändert sich mit der Größe der Stomstärke.** Mehrere Physiker, unter andern auch Lenz (P. A. LIX. 234.), haben die Behauptung ausgesprochen, daß die elektomotorische Gegenkraft eines Voltameters von der Stromstärke unabhängig sey.

In dem oben erwähnten Aufsatz von Daniell (P. A. LX. 387.) wird diese Meinung ebenfalls vertreten, und es wird dort versucht, sie durch eine Reihe von Messungen mit dem Voltameter zu begründen; diese Messungen dürften jedoch für diesen Zweck wohl nicht scharf genug sein. Auch Wheatstone theilt diese Meinung, und ist dadurch zu einem weitern falschen Schluß verleitet worden. Er bestimmte nämlich für eine Kette von drei Daniell'schen Bechern die elektromotorische Kraft, aldann die elektromotorische Gegenkraft in einem Voltameter, welches in den Schließungsbogen jener Kette eingeschaltet wurde. Er fand

$$E = 90$$
$$e = 69.$$

Als Säulen von 4,5 und 6 Elementen angewandt wurden, ergaben sich fast genau dieselben Werthe für e, und daraus schloß Wheatstone, daß die elektromotorische Gegenkraft als constant betrachtet werden könne. E ist hier die elektromotorische Kraft von drei zur Säule combinirten Bechern, folglich ist die elektromotorische Kraft eines Bechers $\frac{E}{3} = 30$, ein Werth, welcher kleiner ist als e. Wheatstone meint nun darin den Erklärungsgrund für die Erscheinung zu finden, daß ein einzelnes Element in einem Voltameter keine Wasserzersetzung hervorbringen kann.

Dies ist aber irrig. Die elektromotorische Gegenkraft kann nie stärker werden als die Ursache, welche sie hervorruft, und man muß deshalb annehmen, daß die elektromotorische Gegenkraft von der Stromstärke abhängig ist. Dann aber kann der Strom eines einzelnen Elementes allerdings eine Wasserzersetzung hervorbringen, wenn sie gleich meistens sehr gering ist. Als z. B. in den Schließungsbogen eines Daniell'schen Elementes ein Voltameter eingeschaltet wurde, dessen Platten ungefähr je 2 Quadratzoll groß waren, erhielt ich eine sehr merkliche Gasentwickelung.

Daß die elektromotorische Gegenkraft im Voltameter wirklich von der Stromstärke abhängt, zeigt sich sehr auffallend an einer Versuchsreihe, welche ich

zu diesem Zweck anstellte. Wie bereits oben angeführt wurde, fand ich die elektromotorische Kraft einer Säule von 6 Zinkkohlenelementen

$$E = 4422,$$

und die elektromotorische Gegenkraft

$$e = 1000.$$

Die elektromotorische Kraft jedes einzelnen Elementes ist $^{4422}/_{6} = 747$, also allerdings kleiner als die elektromotorische Gegenkraft im Voltameter.

Es wurde nun die elektromotorische Kraft einer Säule von vier solchen Zinkkohlenelementen bestimmt; es ergab sich

$$E = 3124.$$

Nach Einschaltung des Voltameters ergab sich für die elektromotorische Kraft nur noch

$$E' = 2427,$$

es ist also hier

$$e = E - E' = 700.$$

Hier, bei einem schwächeren Strom ergiebt sich also die elektromotorische Gegenkraft schon merklich kleiner, ja sie ist in diesem Falle schon kleiner als die elektromotorische Kraft eines Elementes.

Für eine Säule von zwei Elementen ergab sich

$$E = 1604.$$

Nach Einschaltung des Voltameters

$$E' = 984,$$

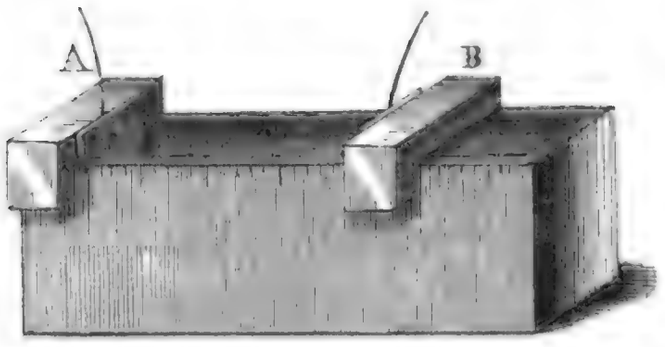
also

$$e = E - E' = 620.$$

Die eben mitgetheilten Zahlen machen durchaus keinen Anspruch auf große Genauigkeit, aber das ist durch sie unzweifelhaft dargethan, daß, wie sich auch voraussehen ließ, die elektromotorische Gegenkraft mit abnehmender Stromstärke ebenfalls geringer wird. Die elektromotorische Gegenkraft ist demnach eine Function der Stromstärke, welches aber die Form dieser Function ist, muß erst noch durch genauere Versuche ermittelt werden.

Daß die Größe der elektromotorischen Gegenkraft von der Stromstärke abhängig ist, hat zuerst Poggendorff außer Zweifel gestellt. (P. A. LXI. 613). Auch Buff (P. A. LXXIII. 497.) fand die elektromotorische Gegenkraft des Voltameters bedeutender bei dem Strom von 3, als bei dem von nur 2 Zinkkohlenelementen; ferner fand er die Größe der Polarisation durch Einschaltung größerer Drahtlängen in den Schließungsbogen vermindert.

Fig. 113.



Für den Fall, daß die Elektroden den ganzen Querschnitt eines Troges ausfüllen, wie Fig. 113, zeigt sich auch nach Buff die Polarisation etwas größer, wenn die Zerlegungszelle weniger angefüllt ist. Wenn die Elektroden frei in die ringsum sie umgebende Flüssigkeit hineinragen, ist die Größe der Elektroden ohne Einfluß auf die Größe der Polarisation.

135 **Numerische Bestimmung der Polarisation.** Lenz und Saweljev haben eine große Reihe von Versuchen zur Bestimmung der galvanischen Polarisation in verschiedenen Fällen angestellt (Bull. de la classe phys. math. de l'acad. d. scienc. de St. Petersb. T. V. p. 1. P. A. LXVII. 497). Das Verfahren, welches sie anwandten, um die Größe der Polarisation in einer Zersetzungszelle zu bestimmen, war das, daß sie nach der Wheatstone'schen Methode (Seite 267) die elektromotorische Kraft einer Säule einmal bei metallischer Schließung und dann nach Einschaltung der Zersetzungszelle bestimmten. Die Differenz beider Zahlen giebt die Größe der durch die Polarisation in der Zersetzungszelle hervorgerufenen elektromotorischen Gegenkraft an.

Folgendes Beispiel mag die Art der Beobachtung erläutern.

Um die Ablenkung der Bussolennadel von 20^0 auf 10^0 herabzubringen, mußte man einschalten

bei metallischer Schließung	19,91	Rheost. Wind
als in den Schließungsbogen eine Zersetzungszelle eingeschaltet wurde, gebildet durch 2 Platinplatt. in Salpeters. tauchend	17,37	»
Polarisation der Zersetzungzelle	2,54.	

Nach dieser Methode ergaben sich folgende Werthe für die galvanische Polarisation verschiedener Zersetzungszellen:

Kupferplatten in Kupfervitriol	0,07
Amalgamirte Zinkplatten in Salpetersäure .	0,03
Kupferplatten in Salpetersäure	0,01.

Diese Versuche beweisen, daß die Polarisation verschwindet, wenn die Ausscheidung von Gasen an den Elektroden aufhört; in allen drei Fällen tritt an der positiven Elektrode kein Sauerstoff auf, weil er das Metall sogleich bei seiner Ausscheidung aus den Wasser oxydirt; die Ausscheidung von Wasserstoffgas an den negativen Elektroden ist aber im ersten Fall dadurch verhindert, daß der nascirende Wasserstoff dem Kupferoxyd seinen

Sauerstoff entzieht und Kupfer metallisch niederschlägt; in den beiden andern Fällen dadurch, daß der nascirende Wasserstoff sogleich durch die Salpetersäure oxydirt wird.

Hier also, wo sich die Elektroden nicht mit Gashüllen bekleiden können, findet keine Polarisation Statt; die geringen Zahlenwerthe, welche wir oben angegeben finden, rühren wohl nicht von einer Polarisation der Elektroden, sondern daher, daß sie im Lauf des Versuchs nicht gleichartig bleiben, indem die eine Platte angefressen wird, die andere nicht, und dies veranlaßt, daß das Plattenpaar an und für sich schon eine geringe elektromotorische Kraft hat.

Auch Buff fand die Polarisation für Kupferplatten in Kupfervitriol und für Zinkplatten in Zinkvitriol verschwindend klein. (P. A. LXXIII. 497.)

Lenz und Saweljev fanden nun ferner für die Polarisation von

Platinplatten in Salpetersäure	2,48
Platinplatten in Schwefelsäure *)	5,46
Amalgamirte Zinkplatten in Schwefelsäure . .	1,00
Kupferplatten in Schwefelsäure	2,15
Zinnelektroden in Schwefelsäure	1,45
Eisenelektroden in Schwefelsäure	0,33
Graphit in concentrirter Salpetersäure . .	1,26.

Die hier angegebenen Zahlenwerthe sind meist das Mittel aus mehreren Versuchen.

In dem ersten Falle, Platinplatten in Salpetersäure, findet keine Wasserstoffablagerung an der negativen Elektrode Statt, die Polarisation im Werth 2,48 ist also lediglich der Polarisation an der positiven Elektrode, also derjenigen zuzuschreiben, an welcher das Sauerstoffgas auftritt; 2,48 ist demnach die Größe der Polarisation, welche eine Platinplatte durch Sauerstoff erfährt.

Im zweiten Fall, Platinplatten in Schwefelsäure, findet eine Gasablagerung an beiden Elektroden Statt, der Werth 5,46 ist also die Summe der Polarisationen beider Platten; ist die Polarisation des Platins durch Sauerstoff 2,48, so bleibt demnach für die Polarisation des Platins durch Wasserstoff $5{,}46 - 2{,}48 = 2{,}98$, also nahezu 3.

In den vier folgenden Fällen, Zink, Kupfer, Zinn und Eisen in Schwefelsäure, wird die positive Elektrode angegriffen, die entsprechenden Zahlenwerthe sind also die Werthe der Polarisation dieser Metalle durch Wasserstoff. Stellen wir diese Resultate zusammmen, so haben wir für die Polarisation von

---

*) Diese Säure bestand aus 6 Volumtheilen concentrirter Schwefelsäure auf 100 Theile Wasser.

Platin in Sauerstoff	2,48
Platin in Wasserstoff	3,00
Zink in Wasserstoff	1,00
Kupfer in Wasserstoff	2,15
Zinn in Wasserstoff	1,45
Eisen in Wasserstoff	0,33
Graphit oder Kohle in Sauerstoff .	1,25.

Setzt man in den Schließungsbogen einer Säule eine Schließungszelle, welche aus ungleichartigen Platten besteht, so wirkt diese selbst wieder elektromotorisch, und die Wirkung dieser elektromotorischen Kraft der Zersetzungszelle wird nach Umständen mit der Polarisation gleich oder entgegengesetzt gerichtet sein. Nehmen wir an, die elektromotorische Kraft der Zersetzungszelle wirke ebenso wie die Polarisation der elektromotorischen Kraft der Säule entgegen, so wird die Differenz D, welche die Messung der elektromotorischen Kraft der Säule ergiebt, je nachdem die Zersetzungszelle in den Schließungsbogen eingeschaltet ist oder nicht, die Summe der elektromotorischen Kraft der Zersetzungszelle und der Polarisation seyn, oder es ist

$$D = e + p,$$

wenn wir mit e die elektromotorische Kraft der Zesetzungszelle, mit p die in ihr auftretende Polarisation bezeichnen. Hat man nun für verschieden construirte Zersetzungszellen (etwa bestehend aus Platin in Salpetersäure, und Zink in Schwefelsäure, ferner Platin in Salpetersäure und Kupfer in Kalilösung) den Werth von D bestimmt, so kann man für diese Combination den Werth von e berechnen, wenn man die hierher gehörigen Werthe von p in Abzug bringt. Auf diese Weise ermittelten Lenz und Sawelјev die elektromotorische Kraft folgender Combinationen:

Platin in Salpetersäure, combinirt mit

Platin in Salzsäure	— 0,26
Platin in Schwefelsäure	— 0,02
Platin in Salpetersäure	0,00
Graphit in Salpetersäure	0,01
Gold in Salpetersäure	0,06
Gold in Schwefelsäure	0,25
Quecksilber in Schwefelsäure	0,7
Quecksilber in salpetersaurem Quecksilberoxydul	0,79
Platin in Kalilösung	1,20
Reines Kupfer in Schwefelsäure . . .	1,39
Etwas oxydirtes Kupfer in Schwefelsäure	1,75
Kupfer in Kupfervitriol	2,00
Gold in Kalilösung	2,31

Zinn in Salzsäure	2,38
Eisen in Salzsäure	2,75
Graphit in Kalilösung	2,84
Eisen in Schwefelsäure	2,92
Zinn in Schwefelsäure	2,95
Kupfer in Kalilösung	3,10
Zinn in Kalilösung	3,94
Zink in verdünnter Salpetersäur	4,05
Zink in verdünnter Salzsäure	4,07
Zink in Schwefelsäure	4,17
Eisen in Kalilösung	4,65
Zink in Kalilösung	5,48.

Für Zink in Schwefelsäure und Kupfer in Kupfervitriol fanden die beiden Petersburger Physiker die elektromotorische Kraft 2,17. Dies giebt uns nun einen Anhaltspunkt, um die eben mitgetheilten Zahlenwerthe für Polarisation und elektromotorische Kraft auf unsere (chemische) Einheit zu reduciren. Wir haben nämlich für die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes den Werth 470 (Seite 256) gefunden, wir müssen also die Zahlenwerthe, wie sie Lenz und Sawelјev angeben, mit $\frac{470}{2,17} = 217$ multipliciren, um sie auf chemisches Maaß zu reduciren.

Für die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Elementes (Platin in Salpetersäure, Zink in Schwefelsäure) fanden sie die elektromotorische Kraft 4,17, also nach chemischem Maaß 4,17 . 217 = 905.

Für die Polarisation verschiedener Metallplatten ergeben sich demnach, in chemischem Maaß ausgedrückt, folgende Werthe:

Platin in Sauerstoff	538
Platin in Wasserstoff	651
Zink in Wasserstoff	217
Kupfer in Wasserstoff	466
Zinn in Wasserstoff	314
Eisen in Wasserstoff	72
Kohle in Sauerstoff	271,

für die Gesammtpolarisation der beiden Platinelektroden in verdünnter Schwefelsäure

1185,

während ich für diesen Fall die Zahl

1000

gefunden habe. (Seite 316.)

Polarisation an platinirten Platinplatten. Poggendorff[136] machte zufällig die Beobachtung, daß in einem Element der Grove'schen

Gasſäule, welches in den Schließungsbogen eines Grove'ſchen Elementes eingeſchaltet wurde, eine unerwartet bedeutende Gasentwickelung ſtattfand, während ein einfaches Grove'ſches Element, durch ein Voltameter mit blanken Platinplatten geſchloſſen, nur eine höchſt unbedeutende Waſſerzerſetzung lieferte (P. A. LXX. 183.)

Um meſſende Vergleichungen anſtellen zu können, conſtruirte er ein Voltameter mit platinirten Platinplatten, welches er mit einem gewöhnlichen Voltameter verglich. Das Voltameter mit blanken Platten lieferte im Schließungsbogen eines Grove'ſchen Elementes in 30 Minuten

0,89 Kubikcentimeter Knallgas,

während das Voltameter mit platinirten Platten unter denſelben Umſtänden

77,68 Kubikcentimeter Gas,

alſo faſt 87mal ſo viel lieferte.

Dies kann nur daher rühren, daß die Polariſation an platinirten Platten bedeutend geringer iſt als an blanken. Poggendorff hat dies durch directe Meſſungen bewieſen.

Die elektromotoriſche Kraft einer Säule von zwei Grove'ſchen Elementen ergab ſich = 64; nach Einſchaltung des Voltameters mit platinirten Platten war ſie noch 31, es war mithin die Polariſation an den platinirten Platten

$$64 - 31 = 33.$$

Als an die Stelle des Voltameters mit platinirten Platten das mit blanken Platinplatten geſetzt wurde, ergab ſich die elektromotoriſche Kraft der geſammten Kette gleich 22, alſo die Polariſation an den blanken Platinplatten

$$64 - 22 = 42.$$

Auf Seite 284 iſt angeführt, daß die elektromotoriſche Kraft eines Grove'ſchen Elementes als Mittel aus den Beobachtungen verſchiedener Phyſiker nach chemiſchem Maaß 777 ſei; demnach iſt die elektromotoriſche Kraft von zwei Elementen gleich 1554; auf chemiſches Maaß reducirt, iſt demnach der Werth der Polariſation der blanken Platten, welchen Poggendorff fand,

$$42 \cdot \frac{1554}{64} = 1020,$$

was mit dem Werth der Polariſation, wie er oben auf Seite 316. angegeben iſt, ſehr nah übereinſtimmmt.

Für platinirte Platten iſt demnach die Polariſation nach chemiſchem Maaß

$$33 \frac{1554}{64} = 801.$$

Auch Poggendorff fand, wie bereits auf Seite 327 erwähnt wurde, daß die Stärke der Polariſation mit der Stromſtärke abnimmt; als durch

Vergrößerung des außerwesentlichen Widerstandes die Stromstärke so geschwächt wurde, daß die Nadel der in den Schließungsbogen eingeschalteten Sinusbussole von 47° 49′ auf 5° 44′ zurückging, nahm die Polarisation im Voltameter von 42 bis 38, oder nach chemischem Maaß von 1020 bis 922 ab.

Nach Poggendorff's Versuchen ist bei platinirten Platten die Größe der Polarisation nur sehr wenig von den Veränderungen der Stromstärke abhängig, so daß man sie ohne merkliche Fehler als constant annehmen kann.

Auch Svanberg hat viele Versuche über galvanische Polarisation und zwar mit großer Sorgfalt und Genauigkeit angestellt. (P. A. LXXIII. 298.) Für die Polarisation, welche der Strom von vier Daniell'schen Elementen in einem Voltameter mit blanken Platinplatten hervorbringt, fand er, auf chemisches Maaß reducirt, den Werth

1072.

Svanberg machte die Bemerkung, daß die Polarisation im Voltameter allmälig wächst, und daß es einige Zeit dauert bis sie ihr Maximum erreicht. Um nun das Maximum der Polarisation richtig zu bestimmen, machte er seine Messungen erst, nachdem der Strom einige Stunden lang durch das Voltameter hindurchgegangen war.

Metallplatten mit rauhen Oberflächen ergaben nach seiner Messung eine geringere Polarisation als polirte, was wohl mit Poggendorff's Beobachtung in Zusammenhang steht, daß die Polarisation an platinirten Platinplatten geringer ist, als an blanken. Die Polarisation von Kupferplatten durch Wasserstoffgas fand Svanberg im Verhältniß von 12 zu 8 geringer, wenn diese Platten rauh gefeilt, oder noch besser durch galvanisch gefälltes Kupfer feinkörnig gemacht, als wenn sie polirt waren.

Buff's Untersuchungen über galvanische Polarisation. Einzelne Resultate der Untersuchungen, welche Buff über galvanische Polarisation anstellte, wurden bereits Oben erwähnt, wir müssen jedoch hier noch Einiges aus seiner Abhandlung hervorheben. (P. A. LXXIII. 497.) 137

Buff führt an, daß eine Ablenkung von 45° an seiner Tangentenbussole einer Wasserstoffentwickelung von 21,08 C.C. in der Minute entspreche (reducirt auf 0° Temperatur und 760^{mm} Druck?), was einer Knallgasentwickelung von 31,6 C.C. gleich ist; seine Stromstärken werden demnach auf chemisches Maaß reducirt, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 31,6 multiplicirt.

Buff findet im Laufe dieser Untersuchung die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes gleich 4,207; da bei zu Grundlegung unserer Einheiten die elektromotorische Kraft dieses Elementes 470 ist, so muß man also Buff's Angaben der elektromotorischen Kraft sowohl, als auch

ſeine Polariſationswerthe mit $\frac{470}{4{,}207} = 111$ multipliciren, um ſie mit unſern vergleichbar zu machen. Buff's Vergleichung zwiſchen Stromſtärke und Polariſationsgröße in einem Voltameter mit blanken Platinplatten gab (auf unſere Einheiten übertragen) folgende Reſultate:

Stromſtärke.	Polariſation.
43,7	1256
19,7	1165
11,5	1132
8,0	1118
4,4	1069.

Bei dieſen Verſuchen bildeten die Platinelektroden die gegenüberſtehende Seite eines Troges; die vorſtehenden Zahlen beziehen ſich auf den Fall, daß der Trog bis zu einer Höhe von 45 Millimeter angefüllt war.

Bei einer Anfüllungshöhe von 10 Millimeter ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von Stromſtärke und Polariſation:

Stromſtärke.	Polariſation.
20,5	1199
11,5	1170.

Unter ſonſt gleichen Umſtänden ergab ſich alſo die Polariſation etwas größer bei geringerer als bei größerer Anfüllungshöhe des Troges, wie es bereits auf Seite 328 angeführt wurde.

Buff bemerkt ebenfalls, daß der Eintritt des Maximums der Polariſation immer einige Zeit erfordere.

Für eine Zerlegungszelle, gebildet aus zwei Zinkplatten in einer Auflöſung von Zinkvitriol ſtehend, fand Buff den Polariſationswerth

$$p = 0{,}85,$$

nach unſern Einheiten

$$p = 94.$$

An dieſes Reſultat ſchließt er folgende Betrachtungen an:

„Ich betrachte $p = 0{,}85$ als die elektriſche Differenz des Zinks und »Waſſerſtoffs, oder doch als einen Näherungswerth derſelben. Ebenſo be»trachte ich den Polariſationswiderſtand der Platinplatten in verdünnter »Schwefelſäure als einen Näherungswerth für die elektriſche Differenz des »Sauerſtoffs und Waſſerſtoffs. Denn durch die Waſſerſtoffſchicht an der »negativen Platinplatte, ſo wie durch die Sauerſtoffſchicht an der poſitiven »Platinplatte wird daſſelbe bewirkt, wie wenn nicht zwei Platinſtreifen, ſon»dern ein Streifen feſten Waſſerſtoffs und ein Streifen feſten Sauerſtoffs »in die Säure waren eingeführt worden. — — — Die bei unmittelbarer »Berührung von Waſſerſtoff und Sauerſtoff geweckte elektromotoriſche »Thätigkeit, oder die elektriſche Differenz beider Stoffe bezeichnet demnach

»die äußersten Gränzen des Widerstandes, der durch die Polarisation zweier »Metalle im Zersetzungsgefäße überhaupt entstehen kann. Man wird sich »dieser Gränze um so mehr nähern, je vollständiger die eingetauchten Plat»ten sich mit den Gasen zu bekleiden vermögen, und je vollständiger dadurch »die unmittelbare Berührung der metallischen mit den flüssigen Leitern ver»mieden wird.«

In derselben Abhandlung finden wir nun ferner mehrere Versuchsreihen, welche die Abwesenheit der Polarisation in allen Fällen darthun, in denen die Ablagerung der Gase an den Elektroden verhindert wird, was bereits Seite 329 erwähnt wurde.

Verminderung der Polarisation durch Erwärmung der Flüs- 138
sigkeit. In der Biblioth. univers. Febr. 1837 p. 388. beschreibt De la Rive folgenden Versuch. In den Schließungsbogen einer Säule von vier Elementen schaltete er außer einem Galvanometer eine Zersetzungszelle ein, welche aus zwei Platinplatten, in ein Glas mit Wasser getaucht, bestand; das Galvanometer zeigte eine Ablenkung von 12°. Nun brachte er unter die positive Polplatte, an welcher sich Sauerstoffgas entwickelte, eine starke Alkoholflamme, so daß diese Platte zu glühen anfing und der in die Flüssigkeit tauchende Theil durch Mittheilung hinlänglich erwärmt wurde, um diese zum Kochen zu bringen (wahrscheinlich war also die Platinplatte so ⌝ umgebogen). Es war keine Veränderung in der Ablenkung bemerkbar; dasselbe geschah mit der negativen Platte, und nun stieg die Nadel auf 30°. Nach Wegnahme der Lampe sank die Ablenkung wieder auf 12°.

Als das Wasser durch verdünnte Schwefelsäure ersetzt wurde, war die ursprüngliche Ablenkung 45°, sie stieg durch Erwärmung der negativen Platte auf 80°, während die Erwärmung der positiven Platte abermals keinen Einfluß hatte.

De la Rive schließt daraus, daß die Wärme keinen Einfluß habe auf den Uebergang des elektrischen Stromes aus einem Metall in eine Flüssigkeit, daß sie aber den Uebergang desselben aus einer Flüssigkeit in ein Metall merklich befördere.

Gegen diese sonderbare Meinung tritt nun Vorsselman de Heer auf. Er schreibt die Wirkung nicht direct der Wärme, sondern der durch das Kochen der Flüssigkeit hervorgebrachten Bewegung derselben zu, durch welche die polarisirenden Gase von den Elektroden mit fortgespült werden. Er unterstützt seine Ansicht durch die Thatsache, daß man auch ohne Wärme dieselbe Wirkung hervorbringen kann, wenn man die Platte nur ein wenig in der Flüssigkeit erschüttert, oder auch die Flüssigkeit in der Nähe der Platten durch einen Glasstab in Bewegung bringt.

Er nahm eine Volta'sche Säule von fünf Paaren mit reinem Wasser geladen. Zwei Platindrähte, die Pole der Säule bildend, tauchten in

ein Glas mit deſtillirtem Waſſer; das in die Kette gebrachte Galvanometer zeigte 45°, doch nahm dieſe Ablenkung in Folge der wachſenden Polariſation raſch ab, ſie ſtieg aber ſtets wieder, wenn man den negativen Draht erſchütterte; ſie war

nach 15 Min. 34° — nach Erſchütterung des negativen Drahtes 40°,
» 30 » 16° — » » » » » 38°,
» 60 » 4° — » » » » » 32°.

Die Erſchütterung des poſitiven Drahtes hatte keinen Einfluß.

Aehnliche, wenn auch weniger auffallende Reſultate wurden mit Kupferdrähten erhalten.

Gewiß iſt die Erklärung Vorſſelman's die richtige, doch läßt er den Umſtand unerklärt, warum die Erwärmung oder Erſchütterung des poſitiven Poldrahtes ohne Einfluß iſt. Sollte wohl der Sauerſtoff feſter an den Platinplatten haften als der Waſſerſtoff?

Nach einer Notiz im »Jahresbericht über die Fortſchritte der Chemie, Phyſik u. ſ. w. von Liebig und Kopp. Gießen 1849, Seite 297.« hat Becker in Gießen die Abnahme der Polariſation bei ſteigender Temperatur der Zerſetzungsflüſſigkeit genauer unterſucht; doch iſt ſeine Arbeit noch nicht veröffentlicht.

139 **Urſache der galvaniſchen Polariſation.** Einer der erſten, welche gegen die Hypotheſe eines Uebergangswiderſtandes auftraten und dagegen die Exiſtenz einer elektromotoriſchen Gegenkraft im Voltameter zu begründen ſuchten, war Schönbein. Während alle bisher betrachteten Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand ſich auf die Beziehungen der Stromleitung durch Elektrolyte zu dem Ohm'ſchen Geſetze ſtützen, während man auf dieſem Wege indirect zu der Anſicht geführt wurde, daß die galvaniſche Polariſation den die Elektroden bedeckenden Gasſchichten zuzuſchreiben ſey, faßt Schönbein den Gegenſtand von einer ganz andern Seite auf, und ſucht direct den polariſirenden Einfluß der Gaſe auf Metallplatten nachzuweiſen.

Die wichtigſten hierher gehörigen Aufſätze Schönbein's ſind folgende:

Beobachtungen über die elektriſche Polariſation feſter und flüſſiger Leiter (P. A. XLVI. 109.).

Neue Beobachtungen über Volta'ſche Polariſation feſter und flüſſiger Leiter (P. A. XLVII. 101.).

Ueber Volta'ſche Polariſation feſter und flüſſiger Körper (P. A. LVI. 135.).

Ich will in dem Folgenden die weſentlichſten Reſultate der Schönbein'ſchen Unterſuchungen zuſammenſtellen, ohne gerade über den Inhalt dieſer Abhandlungen im Einzelnen zu berichten.

Der auf Seite 199 des 2ten Bandes meiner Phyſik (3te Auflage) an-

geführte Versuch, daß wenn man durch ein Voltameter den Strom einer Kette hat gehen lassen, und man dann rasch nach Unterbrechung des Stromes jede der beiden Voltameterplatten mit einem Drahtende eines Multiplicators in Berührung bringt, daß alsdann dieser Multiplicator einen Strom anzeigt, welcher das Voltameter in entgegengesetzter Richtung durchläuft, wie der ursprüngliche Strom der Kette; dieser Versuch, welcher bereits 1827 von de la Rive angestellt wurde, beweist nur, daß in dem Voltameter durch den primären Strom eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt wird; er giebt uns aber keinen Aufschluß über Grund und Ursache derselben.

Becquerel stellt nun die Behauptung auf, daß nur in dem Falle der fragliche secundäre Strom eintrete, wo die Poldrähte in eine saliniſche Flüssigkeit eintauchen. Unter diesen Umständen, sagt Becquerel, zersetze sich das Salz, die Basis häufe sich um die negative, die Säure um die positive Elektrode an, und bringe man die Drähte nach der Abtrennung von der Säule in leitende Verbindung, so entstehe ein Strom in Folge der Wiederverbindung von Säure und Basis.

Schönbein zeigte nun, daß zur Hervorbringung des secundären Stromes keineswegs saliniſche Flüssigkeiten nothwendig sind, daß der Versuch mit reinem durch reine Schwefelsäure nur ganz schwach gesäuertem Wasser vollkommen gelingt, selbst wenn die Platinelektroden nur momentan mit der Säule communicirten.

Diese secundären Ströme sind keineswegs von nur augenblicklicher Dauer, sie währen je nach Umständen längere oder kürzere Zeit. In einem Fall, in welchem die ursprüngliche Ablenkung der Galvanometernadel durch den secundären Strom 80° betrug, dauerte es 4 Minuten, ehe derselbe ganz verschwand; bei einer anfänglichen Ablenkung von 160° dauerte es 30 Minuten.

Schönbein brachte den secundären Strom mit Elektroden von Gold eben so gut hervor, wie mit solchen von Platin. Wurden Eisendrähte statt Platin und Kalilösung statt Schwefelsäure angewendet, so zeigte sich der secundäre Strom gleichfalls; Versuche mit versilberten Kupferdrähten, Zink und andern Metallen gaben gleiche Resultate, so daß es in hohem Grade wahrscheinlich ist, daß alle metalliſchen Leiter die Fähigkeit besitzen, elektriſch polarisirt zu werden.

In dem zweiten der oben erwähnten Aufsätze (P. A. XLVII. 101.) gelangt nun Schönbein zur Erklärung des Phänomens. Die wichtigsten Thatsachen, welche zu derselben führen, sind folgende:

1) Werden Platindrähte oder Platten, welche kürzere oder längere Zeit in reinem Wasser, oder in Wasser mit Schwefelsäure oder Salzsäure versetzt, als Elektroden gedient haben, in einer Weingeistflamme bis zum

Rothglühen erhitzt, ſo verlieren ſie ihr elektromotoriſches Vermögen vollſtändig.

2) Wird die poſitiv polariſirte Polplatte, alſo die, welche als negative Elektrode gedient hat, nur auf einige Augenblicke in eine Chlor- oder Bromatmoſphäre gebracht, ſo wird ihre elektromotoriſche Kraft völlig vernichtet; daſſelbe Reſultat wird auch durch ein längeres Eintauchen in Sauerſtoffgas erhalten.

3) Ein negativ polariſirter Platindraht verliert ſeine elektromotoriſche Kraft, wenn man ihn einige Secunden lang in eine Waſſerſtoffatmoſphären taucht.

4) Durch Eintauchen poſitiv oder negativ polariſirter Platinplatten in eine Luftart, welche weder auf Sauerſtoffgas noch auf Waſſerſtoffgas in Gegenwart von Platin chemiſch einwirkt, wird die elektromotoriſche Kraft der Platten nicht aufgehoben.

5) Eine Platinplatte, welche nur wenige Secunden lang in eine Atmoſphäre von Waſſerſtoffgas eingetaucht war, iſt poſitiv polariſirt.

6) Gold- und Silberdrähte erlangen kein elektromotoriſches Vermögen, wenn man ſie in Waſſerſtoffgas eintaucht.

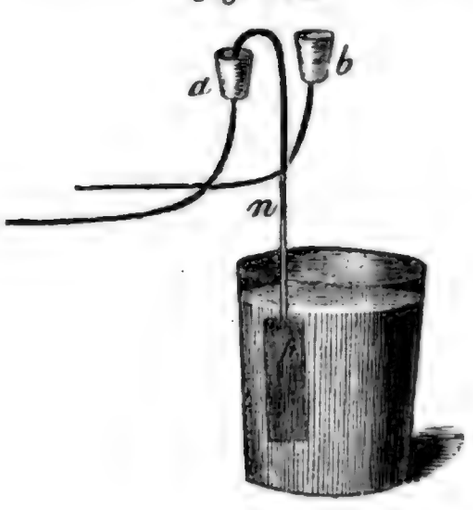
7) Ein Platindraht in Sauerſtoffgas gebracht, wird nicht negativ polariſirt, eben ſo wenig Gold und Silber.

8) Platin, Gold und Silber, nur für einige Augenblicke in gasförmiges Chlor gebracht, werden negativ polariſirt. Bromgas übt auf die genannten Metalle die gleiche Wirkung aus.

Ehe wir zur weitern Beſprechung dieſer Thatſachen übergehen, wollen wir noch die zweckmäßigſte Art betrachten, auf welche man die elektriſche Polariſation einer Metallplatte nachweiſen kann.

In ein Queckſilbernäpfchen *a*, welches mit dem einen Drahtende eines Multiplicators in Verbindung ſteht, iſt der Draht einer Platinplatte *p* eingetaucht, welche vorher wohl gereinigt ſeyn muß, und die in ein Gefäß mit etwas angeſäuertem Waſſer herabhängt. Hängt man in das Näpfchen *b* den Draht einer zweiten ganz gleichen Platinplatte, welche vorher ebenfalls gehörig gereinigt wurde, und die auch in die ſaure Flüſſigkeit eintaucht, ſo bleibt natürlich die Nadel vollkommen ruhig, da ſich ja die beiden Platinplatten elektromotoriſch vollkommen gleich verhalten. — Iſt aber die zweite Platinplatte, welche mit *p'* be-

Fig. 114.



zeichnet werden mag, auf irgend eine der eben besprochenen Arten polarisirt worden, so entsteht ein Ausschlag der Galvanometernadel, aus deren Richtung man auf die Richtung des Stromes schließen kann.

War z. B. die Platinplatte p' in Wasserstoffgas eingetaucht gewesen, so verhält sie sich elektropositiv gegen die andere, d. h. das Galvanometer zeigt einen Strom an, der von p' durch die Flüssigkeit nach p geht. Wird die Platinplatte p' in Chlorgas eingetaucht, so zeigt der Ausschlag der Nadel, daß p' elektronegativ gegen p ist.

Hat die Platinplatte p' als negative Polplatte zur Wasserelektrolyse gedient, so verhält sie sich genau eben so, als ob sie in eine Flasche mit Wasserstoffgas getaucht gewesen wäre, d. h. zur Schließung des Apparates, Fig. 114, angewandt, wird sie einen Strom hervorbringen, welcher von p' durch die Flüssigkeit nach p geht.

Alle die Erscheinungen, welche wir so eben betrachtet haben, deuten darauf hin, daß die Gasschicht, welche sich bei der Elektrolysation an den Elektroden ausscheidet, wirklich die Ursache der galvanischen Polarisation sey. — Ist eine solche Gasschicht die Ursache der Polarisation, so versteht sich von selbst, daß sie durch Glühen der Metallplatte vernichtet wird. Dieser Umstand allein würde jedoch noch nichts beweisen, weil die Glühhitze denkbarer Weise zerstörend auf die Polarität wirken könnte, auch wenn diese von andern Ursachen, als von einer Gasschicht, abhinge. Entschiedener spricht schon der zweite Versuch. Daß die positive Polarität eines Platindrahtes augenblicklich durch Chlor vernichtet wird, läßt sich kaum anders, als durch die chemische Einwirkung des Chlors auf den Wasserstoff erklären, durch welche unter Bildung von Salzsäure jede Spur von Wasserstoffgas entfernt wird. Beim Eintauchen in Sauerstoff wird das an der Platinplatte haftende Wasserstoffgas durch die Mitwirkung der Platinplatte zur Verbindung mit dem Sauerstoff veranlaßt und dadurch gleichfalls die Ursache der Polarisation entfernt. Daß der Sauerstoff die positive Polarität nicht so schnell vernichtet wie Chlor, hat in der langsamen Action des Sauerstoffs auf den Wasserstoff seinen Grund.

Die unter 4. angeführte Thatsache spricht ebenfalls zu Gunsten der Ansicht, daß die Ursache des polaren Zustandes der Elektroden in Wasserstoff und Sauerstoff liege, welche an denselben hängen; zur völligen Gewißheit dürfte diese Voraussetzung aber durch das Factum erhoben werden, welches unter Nr. 5. angeführt ist. Wenigstens scheint durch letzteres unwiderleglich bewiesen zu seyn, daß die positive Polarität der negativen Elektroden von Wasserstoff herrühre. — Ein Platindraht, welcher gar nicht als negativer Pol gedient hat und dem Einfluß des Stromes auf keinerlei Weise unterworfen war, erlangt durch den Umstand allein, daß

er nur wenige Secunden mit Wasserstoff in Berührung gestanden, alle Volta'schen Eigenschaften eines positiv galvanisirten Drahtes.

Durch diese Versuche hat Schönbein in der That den Schleier gehoben, welcher bis dahin das Wesen der galvanischen Polarisation verhüllte.

Nur zwei der oben mitgetheilten Thatsachen, nämlich die unter 6. und 7. angeführten scheinen der oben angedeuteten Erklärung zu widersprechen.

Während eine Platinplatte, welche als positive Elektrode gedient hat, negativ polarisirt ist, kann man diese Polarisation durch Eintauchen in Sauerstoffgas nicht hervorbringen; dies deutet darauf hin, daß die negative Polarität der positiven Polplatte nicht dem Sauerstoffgas zuzuschreiben sey.

Der Umstand, daß Gold- und Silberdrähte in Wasserstoffgas nicht elektropositiv werden, während dieselben Metalle, wenn sie nur auf wenige Secunden die Rolle der negativen Elektroden gespielt haben, merklich positiv polarisirt erscheinen, erregt wenigstens Zweifel gegen die Ansicht, als ob dem Wasserstoffgas die positive Polarisation der negativen Elektroden beizumessen sey.

Bevor wir zur nähern Betrachtung dieses Umstandes übergehen, wollen wir zunächst die Polarisation der Flüssigkeiten betrachten, welche Schönbein gleichfalls in den oben angeführten Aufsätzen bespricht.

140 **Polarisation flüssiger Körper.** Wird verdünnte Salzsäure oder verdünnte Schwefelsäure, in einer Uförmig gebogenen Röhre enthalten, durch Platinelektroden einige Secunden lang mit den Polen einer Säule verbunden, deren Strom eine merkliche Gasentwicklung in der sauren Flüssigkeit veranlaßt, ersetzt man hierauf die gebrauchten Drähte durch neue, d. h. durch solche, die noch nicht als Poldrähte gedient haben, und verbindet man durch dieselben die Säure mit dem Galvanometer, so weicht die Nadel dieses Instrumentes ab und zwar nach einer Richtung, welche anzeigt, daß der positive Strom von derjenigen Flüssigkeitssäule, in welche der negative Poldraht eingetaucht war, nach derjenigen geht, in welcher die positive Elektrode sich befand, oder, mit andern Worten, dieser secundäre Strom ist dem Strom der Säule entgegengesetzt.

Hier zeigen also die Flüssigkeitssäulen eine galvanische Polarisation.

Der Grund und das Wesen dieser Polarisation wird durch folgende Versuche erläutert:

1) Wird Wasser (durch etwas Schwefelsäure leitender gemacht) mit Wasserstoffgas geschüttelt, diese Flüssigkeit in eine unten mit einer Blase verbundene Röhre gebracht, letztere in ein Gefäß gestellt, welches ebenfalls etwas angesäuertes, aber von Wasserstoff freies Wasser enthält, und verbindet man beide Flüssigkeiten durch Platindrähte mit dem Galvanometer, so erhält man einen Strom, welcher von der Wasserstofflösung zur andern

Flüssigkeit geht. Es verhält sich mit andern die wasserstoffhaltige Flüssigkeit zur andern, wie Zink zum Kupfer. — Wendet man zu diesen Versuch Gold- oder Silberdrähte an, so erhält man keinen Strom.

2) Wird der Versuch ganz unter denselben Umständen angestellt, nur mit dem Unterschiede, daß die Flüssigkeit in dem Röhrchen Sauerstoff anstatt Wasserstoff aufgelöst enthält, so erhält man keinen Strom, mögen nun die Verbindungsdrähte von Platin, Gold oder Silber seyn.

3) Enthält die Flüssigkeit im Röhrchen etwas Chlor oder Brom anstatt Wasserstoff aufgelöst, so erhält man einen Strom, welcher von dem weiteren Gefäße in das Röhrchen übergeht, mag man den Versuch mit Platin-, Gold- oder Silberdrähten anstellen.

4) Läßt man durch Schwefelsäure haltiges Wasser, welches sich in einer Uförmigen Röhre befindet, den Strom einer Säule gehen, so liefert diese Flüssigkeit nur in dem Falle einen secundären Strom, wenn man die Verbindung mit dem Galvanometer durch Platindrähte herstellt. Bei Anwendung von Gold- oder Silberdrähten zeigt die Multiplicatornadel nicht die mindeste Ablenkung.

5) Stellt man den Versuch wie bei 4. an, nimmt man verdünnte Salzsäure statt der verdünnten Schwefelsäure, so erhält man einen secundären Strom, auch wenn man zur Schließung Gold- oder Silberdrähte anwendet.

Die Versuche unter 1., 3. und 5. deuten auch hier darauf hin, daß die Ursache der Polarisation in den Gasen zu suchen sey, welche im Wasser aufgelöst sind.

Die Fälle, in welchen die mit Gasen behandelten Flüssigkeiten keinen Polarisationsstrom geben (also Nr. 2. und 4.), entsprechen ganz den schon oben besprochenen Fällen, daß Metalldrähte oder Platten, welche in Gase eingetaucht waren, keinen Polarisationsstrom hervorzubringen im Stande sind, also den Fällen Nr. 6. und 7. auf Seite 338. — Soll nun der Beweis geliefert werden, daß die an den Metallplatten haftenden Gasschichten oder die in Flüssigkeiten aufgelösten Gase die Ursache der galvanischen Polarisation sind, so muß noch erklärt werden, warum wohl in diesen Fällen die Wirkung ausbleibt. Im Wesentlichen ist Schönbein's Ansicht über diesen Gegenstand folgende:

Schönbein's Theorie der galvanischen Polarisation. Wenn in 141
eine Flüssigkeit zwei gleiche Metallplatten eingetaucht sind, von denen die eine rein, die andere mit einer Gasschicht überzogen ist; oder wenn zwei gleiche Metallplatten eingetaucht sind in die beiden Schenkel einer Uförmigen Röhre, welche mit gleicher Flüssigkeit angefüllt sind, nur mit dem einen Unterschiede, daß in der Flüssigkeit des einen Schenkels ein Gas aufgelöst ist, auf der andern Seite aber nicht, so ist die zwischen beiden Seiten stattfindende Ungleichheit Grund genug zum Auftreten einer elektrischen

Spannung. Dieſe elektriſche Spannung kann nun zur Ausgleichung kommen, ſie wird einen elektriſchen Strom veranlaſſen, ſobald eine metalliſche Verbindung zwiſchen beiden Platten hergeſtellt wird. Damit aber ein ſolcher Strom den Multiplicatordraht durchlaufen könne, muß er auch durch die Flüſſigkeit hindurchgehen, welche ohne Elektrolyſe nicht den mindeſten Strom zu leiten im Stande iſt. Das Auftreten des Polariſationsſtromes iſt alſo weſentlich daran gebunden, daß die Elektrolyſe der Flüſſigkeit wirklich ſtattfindet; in allen Fällen nun muß der Strom ausbleiben, in welchen die elektriſche Differenz an den beiden Gränzflächen nicht hinreicht, um die Elektrolyſe einzuleiten.

Iſt z. B. das mit Schwefelſäure angeſäuerte Waſſer auf einer Seite durch eine reine, auf der andern Seite durch eine mit einer Schicht von Waſſerſtoffgas überzogene Gold- oder Silberplatte begränzt, ſo tritt bei metalliſcher Verbindung der beiden Metallplatten kein Strom ein, weil der Waſſerſtoff der einen Goldplatte nicht im Stande iſt, dem nächſten Waſſertheilchen ſeinen Sauerſtoff zu entziehen und dadurch die Elektrolyſe durch die ganze Flüſſigkeitsſchicht einzuleiten; wendet man aber ſtatt der Goldplatten Platin an, ſo leitet das eigenthümliche Verhalten dieſes Metalles zum Waſſerſtoff und Sauerſtoff die Elektrolyſe ein, es veranlaßt, daß der Waſſerſtoff, welcher der Platinplatte zunächſt iſt, den benachbarten Waſſertheilchen ihren Sauerſtoff entzieht und ſo die Zerſetzung und Wiederbildung des Waſſers bis zur andern Platte veranlaßt. So erklärt ſich denn auch, daß der Verſuch Nr. 1., Seite 337, mit Platinplatten gelingt, mit Gold- und Silberplatten aber nicht.

Schönbein hält es nicht für unwahrſcheinlich, daß dieſer Vorgang durch ein Waſſerſtoffſuboxyd vermittelt werde, deſſen Waſſerſtoff ſtärker desoxydirend wirke, als reiner Waſſerſtoff, wie denn auch das dritte Sauerſtoffatom der Superoxyde eine weit größere Verwandtſchaft zu oxydirbaren Körpern zeigt, als reiner Sauerſtoff.

Eine in Chlorgas getauchte Platinplatte, mit einer reinen voltaiſch in verdünnter Schwefelſäure combinirt, liefert einen Strom, weil bei dieſer Combination die Verwandtſchaft des Chlors hinreichend ſtark iſt, um dem nächſten Waſſermolecul ſeinen Waſſerſtoff zu entziehen und Salzſäure zu bilden, wodurch dann die Elektrolyſe des Waſſers auf dem ganzen Wege zur anderen Platte eingeleitet wird. Auch wenn man Gold oder Silberplatten zu dieſem Verſuch anwendet, iſt das Chlor noch im Stande, das Waſſer zu zerlegen, daher auch in dieſem Falle der Strom, welcher natürlich in der Richtung fortſchreitet (der poſitive Strom nämlich), in welcher die Waſſerſtofftheilchen wandern, ſo lange fortdauert, bis das Chlor an der einen Metallplate verſchwunden iſt.

Diesem ganz analog ist die Bildung des Stroms beim Versuch Nr. 3., Seite 341, zu erklären.

Wendet man aber reines Sauerstoffgas statt des Chlors oder Broms an, so befindet sich dasselbe in den obigen Combinationen, um mit Schönbein zu reden, noch nicht in einem solchen Zustande der Erregtheit, daß es die Zersetzung der nächsten Wasserpartikelchen veranlassen könnte, und daher das Ausbleiben des Stromes bei den Versuchen Nr. 7. auf Seite 338 und Nr. 2. auf Seite 341.

Wenn aber reines Sauerstoffgas in diesen Fällen keinen Polarisationsstrom erzeugen kann, wie ist die negative Polarisation einer Platinplatte zu erklären, welche als positive Elektrode gedient hat? Auf keinen Fall durch das an ihn ausgeschiedene Sauerstoffgas. Neben dem Sauerstoff tritt aber an der positiven Elektrode, wie bereits oben Seite 216 erwähnt wurde, Ozon auf, und daß dieser merkwürdige Körper Platinplatten negativ zu polarisiren vermag, ist an der angeführten Stelle bereits erwähnt worden.

Nach Schönbein's Ansicht ist das Ozon ein Wasserstoffsuperoxyd; was dadurch besonders eine große Stütze erhält, daß die Superoxyde der Metalle ein ganz ähnliches Volta'sches Verhalten haben. Das dritte Sauerstoffatom hat eine größere Verwandtschaft zu oxydirbaren Körpern, als der freie Sauerstoff, wodurch sich denn das stark elektronegative Verhalten dieser Körper erklärt.

Hyperoxydketten. Eine mit einem Hyperoxyd, etwa mit Bleihyper- 142
oxyd, überzogene Platinplatte verhält sich elektronegativ gegen eine reine. Taucht man die beiden Platten mit den Enden des Multiplicatordrahtes verbunden in verdünnte Schwefelsäure, so entsteht ein kräftiger Strom von der reinen zu der mit Hyperoxyd überzogenen Platte. Das dritte Atom des Sauerstoffs im Hyperoxyd entzieht den nächsten Wassertheilchen ihren Wasserstoff und leitet dadurch die Elektrolyse durch die ganze Flüssigkeit hiedurch ein.

Um eine Platinplatte mit Bleihyperoxyd zu überziehen, verbindet man sie mit dem positiven Pole einer mehrpaarigen Kette, deren negativer Pol mit einer ähnlichen Platinplatte verbunden ist. Taucht man nun die beiden Platinplatten in eine Lösung von salpetersaurem Bleioxyd, so überzieht sich die positive Polplatte alsbald mit einer Schicht von Bleisuperoxyd.

Der Strom, welchen eine polarisirte Platinplatte mit einer reinen liefert, ist natürlich nur ein vorübergehender, er verschwindet mit der elektromotorischen Schicht, welche die eine Platinplatte überzieht. Diese Schicht verschwindet aber nothwendig in Folge der Strombildung.

Betrachten wir z. B. eine mit Wasserstoffgas positiv polarisirte Platin-

platte; wird dieſe mit einer reinen Platinplatte combinirt, ſo entſteht ein Strom, welcher von der überzogenen zur reinen Platte geht, an der überzogenen wird alſo in Folge des Stroms Sauerſtoffgas ausgeſchieden, welches ſich mit dem Waſſerſtoff verbindet, welcher ſich hier vorfand.

Ebenſo verſchwinden allmälig die Schichten von Chlor, Bleihyperoxyd u. ſ. w., mit denen man Platinplatten negativ polariſirt hat, indem ſich das Chlor oder der Sauerſtoff des Superoxyds mit dem an dieſen Platten durch den Strom ausgeſchiedenen Waſſerſtoffgas verbindet.

Da durch Hyperoxyde polariſirte Platinplatten noch bedeutend ſtärker elektronegativ ſich verhalten als reine Platinplatten, ſo kann man durch Combination von Zink mit Platinplatten, welche mit Bleihyperoxyd überzogen ſind, äußerſt kräftige galvaniſche Ketten conſtruiren.

Der praktiſchen Anwendung ſolcher Ketten ſteht vor der Hand noch der Umſtand entgegen, daß die Schicht von Superoxyd, deren Herſtellung ziemlich umſtändlich iſt, doch gar bald verſchwindet.

Eine Meſſung der elektremotoriſchen Kraft der Hyperoxydketten hat uns Wheatſtone in dem ſchon mehrfach citirten Aufſatze (P. A. LXII. 522.) gegeben. Er fand für die elektromotoriſche Kraft von

1	Zinkamalgam, Kupfervitriol, Kupfer	30	470
2	» verdünnte Schwefelſäure, Kupfer . .	20	313
3	» Platinchlorid, Platin	40	626
4	» verdünnter Schwefel, Platin . . .	27	423
5	Kaliumamalgan, Kupfervitriol, Kupfer	59	924
6	» Platinchlorid, Platin	69	1081
7	» Zinkvitriol, Zink	29	451
8	Zinkamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Bleihyperoxyd . .	68	1065
9	Kaliumamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Bleihyperoxyd .	98	1535
10	Zinkamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Manganhyperoxyd	54	846
11	Kaliumamalgam, verdünnte Schwefelſäure, Manganhyperoxyd	84	1316

Die erſte Zahlencolumne enthält die Werthe der elektromotoriſchen Kräfte, gemeſſen durch Umgänge des Wheatſtone'ſchen Rheoſtaten; die letzte Columne giebt die Werthe auf chemiſches Maaß reducirt, davon ausgehend, daß die elektromotoriſche Kraft der erſten Combination der der Daniell'ſchen Kette gleich zu ſetzen ſey.

Wir ſehen alſo hier, wie die Combination von amalgamirtem Zink mit Bleihyperoxyd eine weit größere elektromotoriſche Kraft zeigt als amalgamirtes Zink und Platin, wenn auch dafür geſorgt iſt, wie bei Nr. 3, daß keine galvaniſche Polariſation am negativen Metall ſtattfinden kann.

Die Combination Nr. 3 iſt eine der Daniell'ſchen Kette entſpre-

chende Combination von Zink und Platin. Aus der Lösung von Platinchlorid wird auf die Platinplatte in Folge des Stroms metallisches Platin ausgeschieden, und dadurch die galvanische Polarisation verhindert, gerade so wie es bei der Daniell'schen Kette durch die Kupferfällung geschieht; wir können also den oben mitgetheilten Zahlenwerth für Nr. 3, nämlich 626, als das Maaß der elektrischen Differenz zwischen Zink (amalgamirt) und Platin betrachten.

Vergleichen wir die elektromotorische Kraft von Nr. 3 mit der elektromotorischen Kraft einer Grove'schen Kette, so ergiebt sich eine bedeutende Differenz, indem erstere nur 626, letztere aber 777, nach meinen Messungen sogar 829 beträgt (Seite 283 und 284).

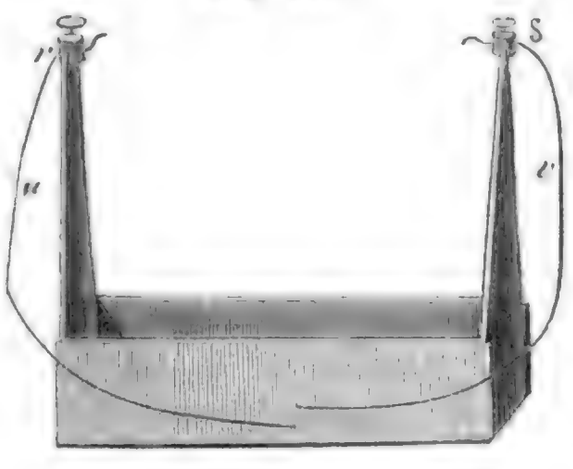
Aus dieser Differenz glaube ich schließen zu können, daß die Salpetersäure in der Grove'schen, also auch in der Bunsen'schen Kette, nicht bloß durch Wegnahme des Wasserstoffs die Polarisation vernichtend, sondern daß sie auch, in der Weise der Hyperoxyde elektromotorisch wirkt. Ein Umstand, welcher diese Ansicht noch wahrscheinlicher macht ist der, daß die elektromotorische Kraft einer Combination von Manganhyperoxyd mit Zink (Nr. 10) nicht merklich größer ist als die der Grove'schen und Bunsen'schen Kette.

Obige Tabelle zeigt uns auch, wie bedeutend die elektromotorische Kraft noch dadurch erhöht werden kann, daß man das elektropositive Zinkamalgam durch das noch weit mehr elektropositive Kaliumamalgam ersetzt; die Kostbarkeit des Kaliumamalgams dürfte aber wohl die praktische Anwendung solcher Ketten unmöglich machen.

Fig. 115.

Grove's Gasbatterie. Die Grove'sche Gasbatterie ist bereits in meinem Lehrbuch der Physik beschrieben (3te Aufl. 2ter Band, Seite 201). Die dort mitgetheilte Figur ist jedoch nur eine schematische. Aus Fig. 115 und Fig. 116 ist die Einrichtung einer solchen Gassäule näher zu er- 143

Fig. 116.



ſehen, welche Herr Profeſſor Schönbein aus England bezogen hat. Fig. 117 ſtellt ein einzelnes Element dar. Auf das Glasgefäß *a* iſt ein gefirnißter Metalldeckel luftdicht aufgekittet. Dieſer Deckel hat drei Oeffnungen; durch zwei derſelben gehen die Glasröhren *b* und *c* luftdicht hindurch, die dritte etwas größere kann durch einen Stöpſel verſchloſſen werden. — Jede der beiden Röhren iſt 30 Centimeter lang und hat 1,8 Centimeter im Durchmeſſer. Am obern Ende einer jeden Röhre iſt ein Platindraht

Fig. 117.

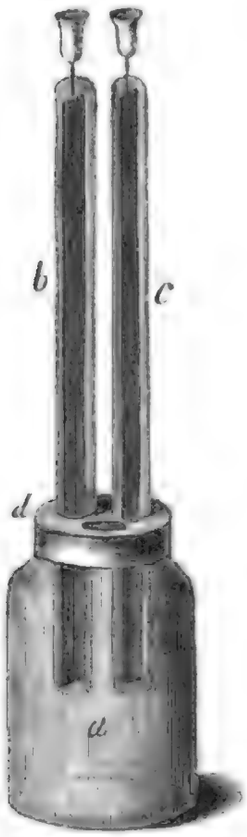
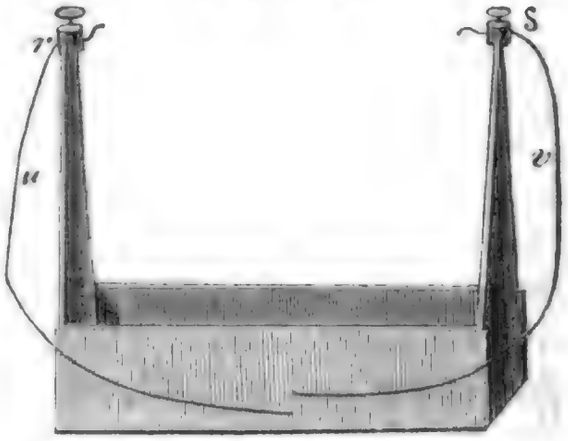


Fig. 118.



eingeſchmolzen, welcher oben ein Queckſilbernäpfchen trägt, und an welcher unten eine platinirte Platinplatte angelöthet iſt, welche faſt bis zum untern Ende der Röhre herabreicht.

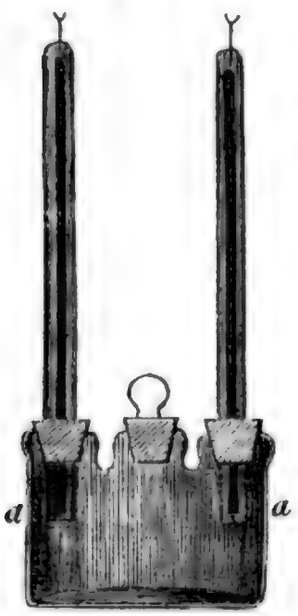
Um ein ſolches Element zu laden, verfährt man folgendermaßen. Man füllt durch die Oeffnung *d* das Gefäß *a* mit Waſſer, verſchließt *d*, und kehrt dann den ganzen Apparat um; auf dieſe Weiſe füllen ſich die Röhren *b* und *c* mit Waſſer. Nachdem man das Element wieder aufrecht geſtellt hat, führt man durch die Oeffnung *d* das Entbindungsrohr des Gasentwicklungsapparates ein. Das eine Rohr wird ſo mit Waſſerſtoffgas, das andere mit Sauerſtoffgas etwa bis auf $^3/_4$ der ganzen Länge gefüllt.

Fig. 118 ſtellt nun ein hölzernes Geſtell vor, welches vier ſolcher Elemente aufnimmt, und zwar iſt Fig. 118 in einem 4mal kleinern Maaßſtabe gezeichnet als Fig. 117. Sind die Elemente eingeſtellt, ſo werden die Queckſilbernäpfchen gehörig durch Kupferdrähte verbunden; in das letzte Queckſilbernäpfchen links taucht ein von der Klemmſchraube *r*, in das letzte Queckſilbernäpfchen rechts taucht ein von der Klemmſchraube *s* ausgehender Draht. — In die beiden Klemmſchrauben werden die Poldrähte *u* und *v* eingeſchraubt.

Dieſe Form der Gasſäule iſt faſt genau dieſelbe, welche Grove in der

Nachschrift zu einem Aufsatze: »Ueber die Volta'sche Gasbatterie, Versuche, um die Ursache ihrer Wirkung und ihre Anwendung auf Endiometrie zu ermitteln (Phil. Trans. 1843 Pt II. pag. 51 in der Uebersetzung in Poggendorff's Annalen im Ergänzungsband II, 1848) als die zweckmäßigste beschreibt; nur ist dort noch die Einrichtung getroffen, daß man die beiden Gasröhren auch aus dem untern Theil des Apparates herausnehmen und die Gase untersuchen kann. Für diesen Zweck dürfen die beiden Röhren *b* und *c* nicht ein für allemal in dem Deckel des Gefäßes *a* eingekittet, sondern sie müssen in Stöpseln befestigt seyn, mittelst deren man sie in den Deckel des Gefäßes *a* einsetzen und ausheben kann. In Fig. 119 ist die Zeichnung wiedergegeben, welche Grove an dem angeführten Orte mittheilt. Das Gefäß *aa* ist ein Glasgefäß von der Art der Woulfe'schen Flaschen; die mittlere Oeffnung ist durch einen Glasstöpsel geschlossen; die Glasröhren werden mittelst angeschmolzener und auswärts abgeschliffener Glaskragen in die beiden andern Oeffnungen eingesetzt.

Fig. 119.



Theorie der Gassäule. Was die Theorie der 144
Gassäule betrifft, so spricht sich Grove dahin aus: »es sey dieser Batterie eigen, daß ihr Strom durch Gase, und zwar eine Synthese von gleicher aber umgehrter Art, sowohl an der Anode als an der Kathode erregt wird.« Damit ist nun freilich keine klare Vorstellung von dem Vorgang in der Gassäule gegeben; noch dunkler ist die Ausdrucksweise Grove's an allen übrigen Stellen seiner Aufsätze, wo er sich auf theoretische Betrachtungen über diesen Gegenstand einläßt. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß der Berichterstatter im »Jahresbericht von Liebig und Kopp, S. 281« wirklich Grove's Ansicht in präciserer Form wiedergiebt, wenn er sagt: »Grove leite die elektromotorische Kraft der Gassäule von dem chemisch elektrischen Gegensatze des Wasserstoffs und Sauerstoffs ab.

Eine Stelle des letztern Grove'schen Aufsatzes deutet allerdings darauf hin, daß ihm diese Vorstellungsweise vorgeschwebt habe, wo er sagt: »Will man die Grotthus'sche Theorie auf die Gasbatterie übertragen, so kann man annehmen, es werde, wenn die Batterie geschlossen ist, in der Sauerstoffröhre an jedem Punkte, wo sich Sauerstoff, Wasser und Platin berühren, ein Wasserstofftheilchen das mit ihm verbundene Sauerstofftheilchen verlassen, um sich mit einem Theilchen des freien Gases zu

vereinigen; der dadurch ausgeschiedene Sauerstoff werde sich mit dem Wasserstoff des anliegenden Wassertheilchens verbinden und so fort, bis das letzte Sauerstofftheilchen sich mit einem Theilchen freien Wasserstoffs vereinigt ꝛc.« Allein Grove sagt bald darauf: »Ich erwähne diese Hypothese nicht, als wenn ich ihr buchstäblich anhinge, sondern weil sie die allgemein angenommene ist.«

Gegen die Grove'sche Theorie der Gassäule ist nun Schönbein aufgetreten, und theilweise mag diese Controverse in der erwähnten Unklarheit ihren Grund haben, mit der Grove seine theoretischen Ansichten ausspricht. Schönbein hat seine Ansichten über die Gassäule in zwei Aufsätzen auseinander gesetzt, welche sich in Poggendorff's Annalen finden, der erstere im LVIII. Bande Seite 361 führt den Titel »Ueber die Sauerstoff- und Wasserstoffsäule,« der zweite im LXXIV. Band. Seite 241 ist überschrieben: »Ueber die Rolle, welche der Sauerstoff in der Grove'schen Gassäule spielt.«

Schönbein's Ansicht über die Gassäule geht dahin, »daß der Wasserstoff in der erwähnten Vorrichtung mit Bezug auf die in ihr stattfindende Stromerzeugung eine primitive, der Sauerstoff dagegen nur eine secundäre, d. h. depolarisirende Rolle spielt.«

Allerdings vermag der Wasserstoff allein einen Polarisationsstrom zu erzeugen, wie uns die auf Seite 338 angeführten Versuche Schönbein's beweisen; eine Platinplatte, welche eine kurze Zeit in eine Atmosphäre von Wasserstoff getaucht war, giebt mit einer reinen Platinplatte combinirt einen Strom, selbst wenn die Flüssigkeit, in welche sie eintauchen, keinen freien Sauerstoff enthält; es ist also klar, daß eine Grove'sche Gassäule einen Strom liefern muß, wenn die eine Hälfte der Röhren ganz mit gesäuertem Wasser gefüllt ist, während die andere Hälfte derselben Wasserstoff enthält, selbst wenn aus der Flüssigkeit vorher aller freie Sauerstoff ausgetrieben worden und der Zutritt der atmosphärischen Luft abgesperrt ist.

Dieser Strom nun hört freilich bald auf, weil in Folge desselben sich Wasserstoff an den bisher nicht mit Gas in Berührung stehenden Platinplatten ablagert, also die Differenz aufhört, welche die Strombildung veranlaßte.

Soll der Strom dauernd seyn, so muß der in Folge des Stroms auf der andern Seite ausgeschiedene Wasserstoff alsbald wieder weggeschafft werden, und dies ist nach Schönbein's Ansicht die Function, welche der Sauerstoff in der Gassäule zu verrichten hat.

Schönbein's Meinung geht also dahin, der Sauerstoff wirke in der Gassäule nicht elektromotorisch, sondern nur depolarisirend; er stützt sich dabei auf die Beobachtung, deren Glaubwürdigkeit der Berichterstatter im »Jahresbericht von Liebig und Kopp,« wohl mit Unrecht in Zweifel zieht,

daß reiner Sauerstoff eine Platinplatte nicht in der Weise zu polarisiren vermöge, wie Wasserstoff, wie wir dies auf Seite 338 gesehen haben.

Die Oben ermittelten Zahlenwerthe für die Polarisation der Platinplatten in verschiedenen Gasen macht es möglich, die Frage in ganz präcise Ausdrücke zu fassen.

Die Gesammtpolarisation in einem Voltameter ist im Maximum ungefähr 1200; die Hälfte dieser Polarisation kommt auf die negative mit Wasserstoff bekleidete, die andere Hälfte auf die positive mit ozonhaltigem Sauerstoff bekleidete Platinplatte; nun ist die Frage: ist die elektromotorische Kraft eines Elementes der Grove'schen Gassäule gleich 1200; oder ist sie nach Schönbein's Ansicht nur 600?

Obgleich eine mit reinem Sauerstoff bekleidete Platinplatte, mit einer andern in gesäuertem Wasser combinirt, keinen Strom erregt, so findet doch jedenfalls auch hier eine elektrische Differenz Statt, wenn sie auch nicht hinreicht, die Zersetzung der zwischenliegenden Wasserschicht einzuleiten, es ist deshalb auch wahrscheinlich, daß die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Gaselementes, geladen mit Wasserstoff und reinem Sauerstoff, größer ist als 600, wenn sie gleich den Werth 1200 nicht erreicht, welcher der Fall entspricht, daß man mit ozonhaltigem Sauerstoff zu thun hat.

Auf den ersten Anblick erscheint wohl nichts leichter, als diese Frage durch einen directen Versuch, nämlich durch Messung der elektromotorischen Kraft der Gassäule, zu entscheiden, doch zeigt eine nähere Prüfung, daß hier von der Messung der elektromotorischen Kraft keine Rede seyn kann. — Die Platinplatten der Gassäule sind nämlich durchaus nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach so mit Gasen bekleidet, sondern nur theilweise; wir haben also hier denselben Fall, als ob man in ein mit gesäuertem Wasser gefülltes Gefäß zwei außerhalb der Flüssigkeit metallisch verbundene Platinplatten eintauchte, von denen die eine an mehreren Stellen mit Zink bedeckt ist. Wenn man die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft auf den Strom anwendet, welcher hier den die beiden Platinplatten verbindenden Draht durchläuft, so wird man (ganz abgesehen von der Polarisation, welche an der reinen Platinplatte auftritt) gewiß nicht den wahren Werth der elektrischen Differenz zwischen Zink und Platin erhalten. Wegen der nur partiellen Bekleidung der Platinplatten mit Gas bilden sich Seitenentladungen, so daß der Strom, welcher den Schließungsdraht durchläuft, nur ein Theil des durch die elektrischen Gegensätze in der Kette hervorgebrachten Effects ist, daher denn auch zum Theil die außerordentlich geringe Stromstärke der Gassäule.

Wirkungen der Gassäule. Mit einer Gasbatterie von 50 Ele- 145
menten erhielt Grove folgende Wirkungen:

1) Einen Schlag, den fünf sich anfassende Personen noch fühlen konnten.

2) An einen mäßig empfindlichen Galvanometer brachte der Strom eine bleibende Ablenkung von 60° hervor.

3) Bedeutende Divirgenz eines Goldblattelektroſkops.

4) Zwiſchen Kohlenſpitzen einen hellen, bei vollem Tageslicht ſichtbaren Funken.

5) Elektrolytiſche Zerſetzung von Jodkalium und geſäuertem Waſſer.

Um eine merkliche Waſſerzerſetzung hervorzubringen, reichen vier Zellen der oben beſchriebenen Einrichtung hin. Eine einzige Zelle zerſetzt Jodkalium.

Zehn Elemente dieſer Art mit verdünnter Schwefelſäure vom ſpecifiſchen Gewicht 1,2 und abwechſelnd mit Waſſerſtoff und Sauerſtoff gefüllt, wurden mit einem eingeſchalteten Voltameter zur Batterie geſchloſſen und 36 Stunden ſtehen gelaſſen. Am Ende dieſer Zeit waren 2,1 Kubikzoll Knallgas im Voltameter entwickelt worden; in jeder der Waſſerſtoffröhren war 1,5 Kubikzoll, in jeder der Sauerſtoffröhren war 0,7 Kubikzoll, zuſammen alſo 2,2 Gas verſchwunden. Die Differenz (2,2 gegen 2,1) rührt wohl daher, daß eine ſchwache Abſorption des Sauerſtoffs durch das Waſſer ſtattfindet.

Wenn ein merklicher Strom ſtattfinden ſoll, ſo dürfen die platinirten Platinplatten nicht ganz unter den Waſſerſpiegel untertauchen, ſondern ſie müſſen begreiflicherweiſe theilweiſe aus der Flüſſigkeit hervor-, und in die Gasatmoſphäre hineinragen.

Eine Batterie, deren Röhren abwechſelnd mit Waſſerſtoff und verdünnter Salpeterſäure geladen waren, gab einen Strom, und zwar reichten drei Paare hin, um in einem eingeſchalteten Voltameter Waſſer zu zerſetzen.

Einen ſehr kräftigen Strom giebt die Gasſäule, wenn man den Sauerſtoff durch Chlor erſetzt. Eine Chlorwaſſerſtoffſäule von zwei Elementen reicht hin, um Waſſer zwiſchen Platinplatten zu zerſetzen.

Aehnlich wie Waſſerſtoff verhält ſich Kohlenoxydgas in der Gasſäule.

Andere Gaſe, z. B. Stickgas, verhalten ſich abſulut wirkungslos in der Gasbatterie. Bringt man z. B. in eine Röhre ein Gemenge von Stickſtoff und Sauerſtoff, in die andere Waſſerſtoffgas, ſo wird nach Schließung der Kette aller Sauerſtoff der einen Röhre allmälig vollſtändig verzehrt, während der Stickſtoff derſelben zurückbleibt. Darauf gründet ſich der Vorſchlag Grove's, die Gasſäule zu eudiometriſchen Verſuchen anzuwenden.

In einem zweiten Aufſatz, welcher ſich im zweiten Ergänzungsbande von Poggendorff's Annalen findet (Seite 407), beſchreibt Grove folgende merkwürdige Verſuche.

Die eine Röhre eines Gasſäulenelementes wurde mit Sauerſtoff geladen, in die andere aber wurde mittelſt eines kleinen auf einem Glasſtiel befeſtigten Glastrichterchen, wie es in Fig. 120. dargeſtellt iſt, ein gewogenes Stückchen Phosphor gebracht, und dann die Röhre zum Theil mit Stickſtoff gefüllt. Der Apparat, durch einen Galvanometer geſchloſſen,

zeigte einen Strom an. Nach viermonatlicher Schließung, während welcher
Fig. 120. das Galvanometer immer einen Strom anzeigte, war das Wasser in der Sauerstoffröhre um 1 Kubikzoll gestiegen, in der Stickstoffröhre aber gar nicht; dagegen war das Phosphorstückchen um 0,4 Gran leichter geworden.

Dies Resultat ist leicht zu erklären, in der Atmosphäre von Stickstoff verbreiten sich Phosphordämpfe und diese verhalten sich denn gerade, wie der Wasserstoff in der gewöhnlichen Gasbatterie.

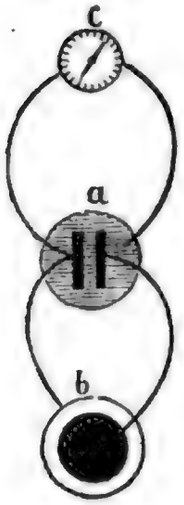
Schwefel anstatt Phosphor gab keine Wirkung, als aber der Schwefel dadurch zum Schmelzen gebracht wurde, daß man einen heißen Metallring an der Stelle, an welcher sich gerade das Trichterchen befand, um die Gasröhre hielt, gab das Galvanometer augenblicklich einen Ausschlag.

Die beiden Röhren der Gasbatterie wurden mit Stickstoff geladen, die eine aber mit Phosphor, die andere mit Jod versehen. Nach der Schließung zeigte sich ein entschiedener Strom, welcher Monate lang anhielt.

Das Stickgas änderte sein Volum nicht, die Flüssigkeit färbte sich aber allmälig. Hier wirkt der Joddampf wie Sauerstoff, der Phosphordampf wie Wasserstoff.

Poggendorff's Wippe. Es ist bekannt, daß, wenn man zwei 146
homogene Platten, etwa zwei Platinplatten, welche in verdünnter Säure eintauchen, mit den Polen auch nur eines Volta'schen Elementes verbindet,

Fig. 121.



die galvanische Polarisation, welche dieselben erfahren, hinreichend stark ist, um einen Strom in entgegengesetzter Richtung hervorzubringen, wenn man sie leitend verbindet, nachdem man den primitiven Strom unterbrochen hat. Es sey z. B. in Fig. 121. *a* ein Voltameter, *b* ein galvanisches Element, welches seinen Strom durch das Voltameter sendet; unterbricht man nun diesen Strom, verbindet man alsdann die Drahtenden eines Multiplicators *c* mit den beiden Platten, so zeigt dieses den Polarisationsstrom an, welcher jedoch bald wieder aufhört.

Auf diese Weise können ganze Reihen von Platten polarisirt werden, und so erhält man die Ritter'sche Ladungssäule, zu deren Ladung man jedoch stets eine primitive Säule von vielen Plattenpaaren anwandte; die elektromotorische Kraft, welche den secundären Strom der Ladungssäule in Bewegung setzte, ist aber begreiflicher Weise stets kleiner als die elektromotorische Kraft der ladenden primitiven Säule.

Poggendorff hat nun eine Vorrichtung ersonnen, um mit einer ein-

fachen Volta'ſchen Kette eine ſecundäre Säule von beliebig vielen Plattenpaaren zu laden und ſo einen Strom von viel größerer elektromotoriſcher Kraft als die der ladenden Kette zu erhalten (P. A. LX. 568.).

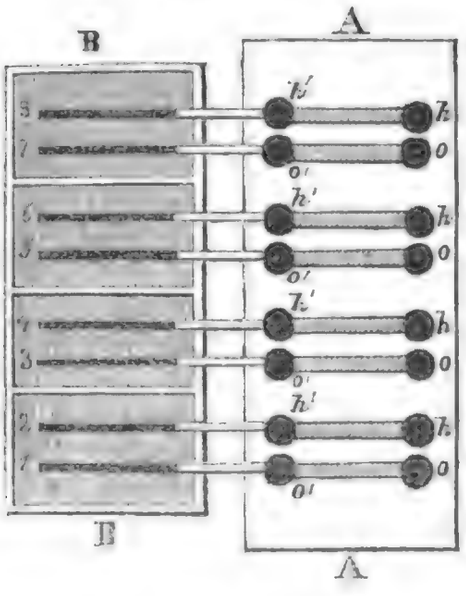
Das Verfahren iſt folgendes. Geſetzt, man habe eine Reihe von Platinplatten paarweiſe in Zellen geſetzt, die mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt ſind, wie dies in Fig 122. angedeutet iſt. Die Platten 1 und 2 ſind in der erſten, 3 und 4 in der zweiten Zelle u. ſ. w. — Werden nun die Platten 1, 3, 5 und 7 mit dem poſitiven Pol der einfachen Kette verbunden, die Platten 2, 4, 6 und 8 aber mit dem negativen, ſo werden die mit ungeraden Zahlen bezeichneten Platten eine negative Polariſation erfahren (indem ſich an ihnen Sauerſtoffgas ablagert), die mit geraden Zahlen bezeichneten Platten aber werden poſitiv polariſirt (durch Waſſerſtoffgas).

Nachdem nun dieſe Verbindung nur ganz kurze Zeit beſtanden hat, wird ſie raſch aufgehoben und nunmehr die geladenen Platten nach dem Princip der Säule verbunden und durch ein Voltameter geſchloſſen, welches jetzt von einem Strom von viel größerer Spannung durchlaufen wird als der primitive war, weil ſich ja in dieſer Combination die elektromotoriſche Kraft aller polariſirten Plattenpaare ſummirt.

Zu dieſem Zweck müſſen die Platten 1 und 8 mit den Voltameterdrähten in leitende Verbindung gebracht, während 2 und 3, 4 und 5, 6 und 7 durch Metalldrähte verbunden werden.

Poggendorff hat nun einen Apparat, die Wippe genannt, erſonnen, um dieſe Ladungen und Entladungen in raſcher Aufeinanderfolge bewerkſtelligen zu können. Folgendes iſt die Einrichtung dieſes Inſtrumentes.

Fig. 122.



Neben den Zellen *B B*, welche die Platinplatten aufnehmen, und welche man Fig. 122. im Grundriß ſieht, iſt ein Brett *AA* angebracht, welches die Unterlage zur eigentlichen Wippe bildet. Es iſt von hartem, dichtem Holz, gemacht 1 Zoll dick, $3\frac{3}{4}$ Zoll breit, und falls das Inſtrument zur Ladung einer Batterie von vier Plattenpaaren dienen ſoll, ungefähr 6 Zoll lang.

In dieſes Brett ſind bis zur Tiefe von ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll zwei Löcherreihen *h o* und *h' o'* eingebohrt, welche paarweiſe durch Kupferdrähte die an beiden Enden hakenförmig herabgebogen ſind, oder auch durch Eiſenſtäbe die in das Brett eingelaſſen ſind, verbunden werden, wie es in unſern Figuren gezeichnet iſt. Die Löcher werden mit Queckſilber gefüllt.

Von der Platinplatte 1 geht ein Kupferdraht nach o', die Platte 1 iſt alſo mit dem vorderſten o' und o in leitender Verbindung, ebenſo die Platte 2 mit den beiden folgenden Queckſilbernäpfchen h' und h u. ſ. w.

Damit die Verbindungsdrähte möglichſt kurz ſeyen, hat man die Unterlage AA durch ein Statif oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platinplatten, und dieſen recht nahe zu bringen.

Auf die Unterlage kommt die eigentliche Wippe zu ſtehen, welche mit der Unterlage in Fig. 123 in etwas größerem Maaßſtab perſpectiviſch, und in Fig. 124 im Durchſchnitt dargeſtellt iſt.

Fig. 123.

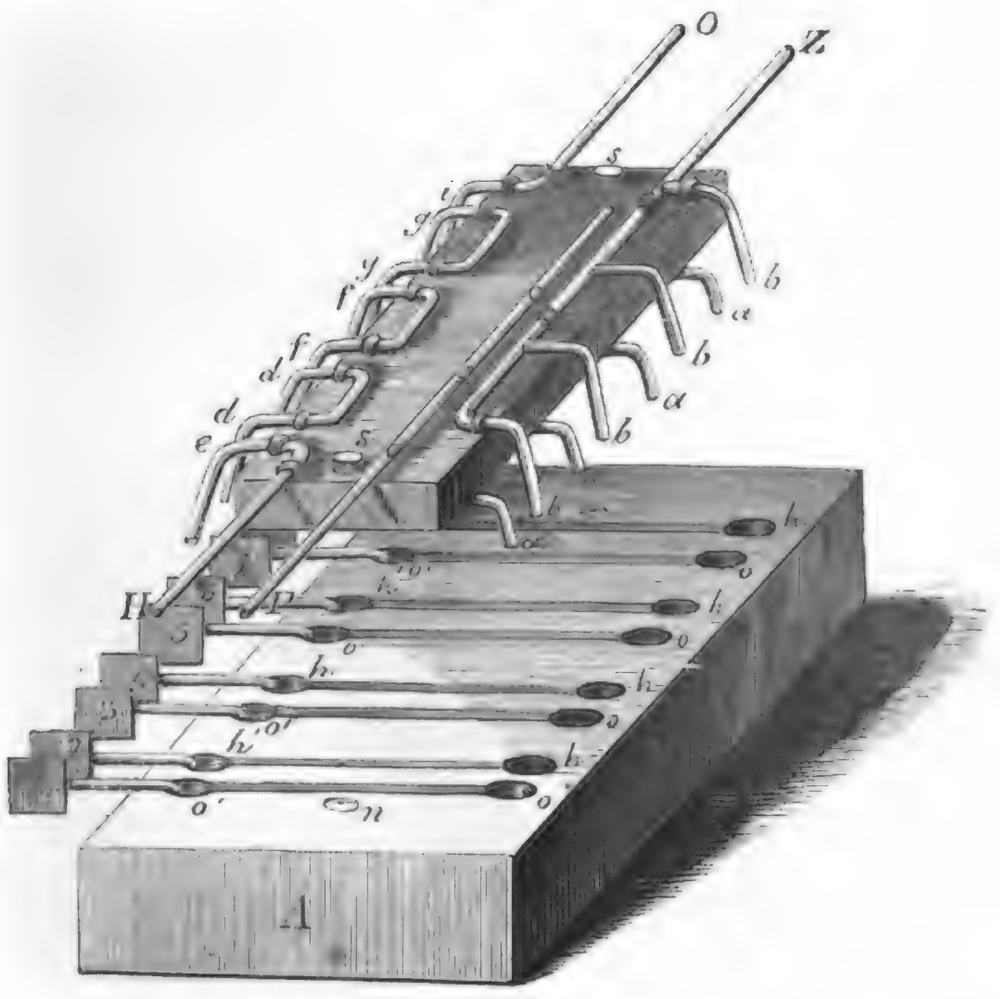
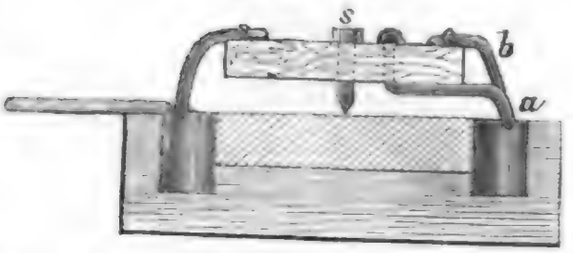


Fig. 124.



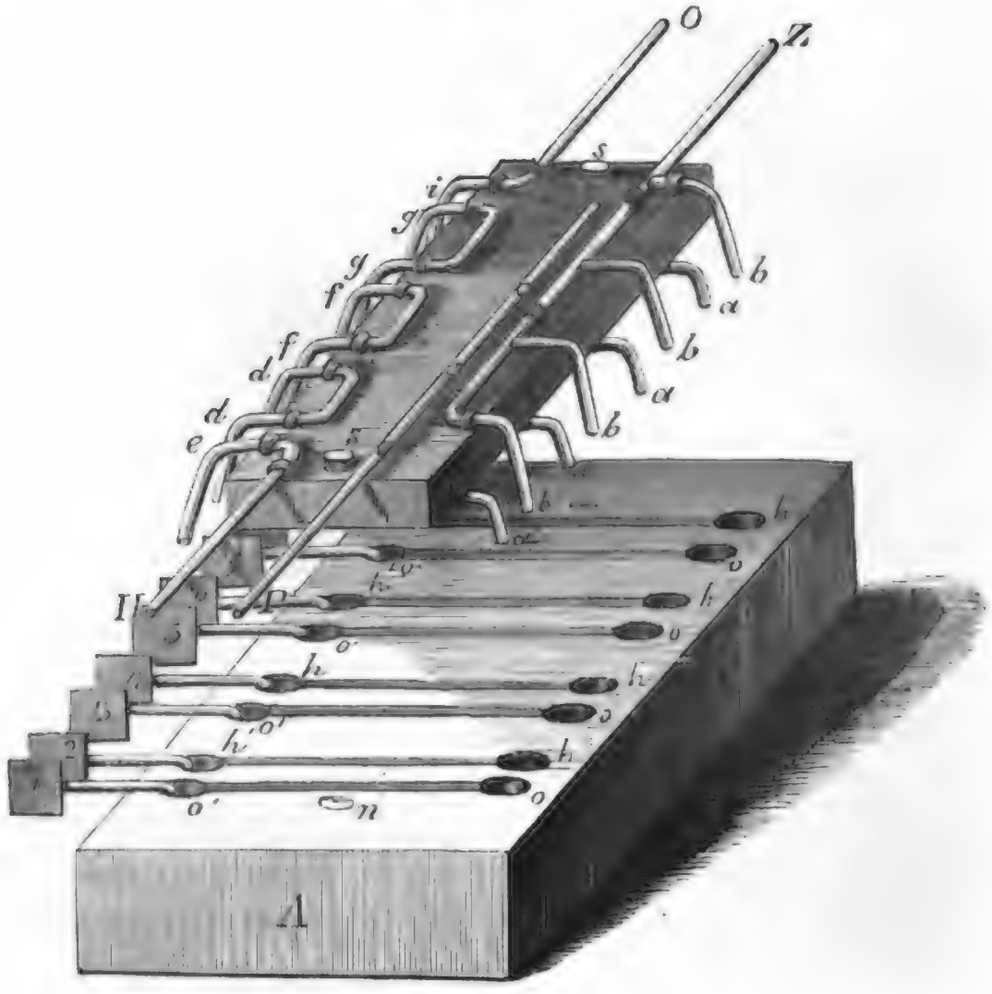
Durch den mittleren Theil eines Brettes von $\frac{1}{3}$ Zoll Dicke, $1\frac{1}{2}$ Zoll Breite und faſt gleicher Länge mit der Unterlage gehen zwei ſtumpf zugeſpitzte Stifte ss, welche zwei Vertiefungen in der Unterlage entſprechen. Mittelſt dieſer Stifte ſtützt ſich die Wippe auf die Unterlage in der Weiſe, daß ſie

entweder nach der einen oder nach der andern Seite neigt, ſo daß die an dem Brett befindlichen Haken entweder in die Queckſilbernäpfchen rechts oder links eintauchen.

Dieſe Haken ſind von Kupferdraht. Auf der rechten Seite iſt die Hälfte aller Haken, nämlich die mit *b* bezeichneten an einem nach Hinten verlängerten und dort mit *Z* bezeichneten Kupferdraht befeſtigt; die mit *a* bezeichneten Haken aber gehen durch das Brett hindurch zu einem nach vorn verlängerten und da mit *P* bezeichneten Kupferdraht. Iſt nun die Wippe auf die rechte Seite geneigt, ſo tauchen die mit *a* bezeichneten Haken in die mit *o* bezeichneten Löcher, die mit *b* bezeichneten Haken tauchen aber in die mit *h* bezeichneten Löcher.

Bei *Z* iſt nun ein Verbindungsdraht angeſchraubt, welcher zum Zinkcylinder, bei *P* ein ſolcher, welcher zum Kohlencylinder (oder zur Platinplatte) des ladenden Elementes geht; wenn alſo die Wippe nach der rechten Seite geneigt iſt, ſo ſind dadurch die Platten 1, 3, 5, 7 mit dem Kohlen-, die Platinplatten 2, 4, 6, 8 mit dem Zinkcylinder in Verbindung, 1, 3, 5 und 7 werden alſo negativ; 2, 4, 6 und 8 werden poſitiv polariſirt. (In Fig. 125 ſind die Platinplatten 1, 2, 3 u. ſ. w., zu

Fig. 125.



welchen die Kupferdrähte führen, welche aus den Löchern *o'* und *h'* nach der Linken gehen, nur ſchematiſch angedeutet.)

Auf der linken Seite der Wippe befindet ſich nun ein anderes Hakenſyſtem. Der vorderſte *e* iſt nach vorne (nach *H*) gebogen, der hinterſte *i* nach Hinten (nach *O*). Die beiden mit *d* bezeichneten Haken ſind aus einem Stück Kupferdraht gemacht, ebenſo die beiden mit *f* und die beiden mit *g* bezeichneten Haken. Wird nun die Wippe nach der linken Seite geneigt, ſo treten die Haken *a* und *b* aus dem Queckſilber der Näpfchen heraus, die Haken *c*, *d*, *f*, *g* und *i* aber tauchen in die Näpfchen *o'* und *h'* ein. Durch die Haken *d* werden die Platten 2 und 3, durch *f* 4 und 5, durch *g* 6 und 7 in leitende Verbindung gebracht, alſo die Platinplatten nach dem Syſtem der Säule combinirt. Bei *H* nun iſt der eine Enddraht des Voltameters, bei *O* der andere angeſchraubt, ſobald alſo die Wippe nach der linken Seite gelegt wird, werden die zuvor geladenen Platinplatten zur Säule verbunden, und dieſe Säule gleichzeitig durch das Voltameter geſchloſſen.

Der durchs Voltameter gehende Strom der Ladungsſäule iſt ein raſch vorübergehender; neigt man die Wippe wieder nach der rechten Seite, ſo findet eine abermalige Ladung der Platinplatten, und bei einer Neigung nach der Linken eine abermalige Entladung durch das Voltameter Statt.

Was die Vorſichtsmaßregeln betrifft, die man bei der Conſtruction und dem Gebrauche der Wippe zu beobachten hat, ſo müſſen wir auf die Originalabhandlung verweiſen (P. A. LXI. 586).

Um den Proceß des Ladens und Entladens zu unterhalten, hat man nur die Wippe andauernd hin- und her zu bewegen, was leicht mit dem Finger 2- bis 300mal in der Minute ausgeführt werden kann. Man erhält auf dieſe Weiſe zwar einen intermittirenden, aber doch beliebig lange wirkenden Strom, den man zu verſchiedenen Zwecken benutzen kann. — Poggendorff's Säule beſtand aus 4 Plattenpaaren von 2½ Quadratzoll Fläche auf jeder Seite; als primäre Kette brauchte er ein Grove'ſches Element.

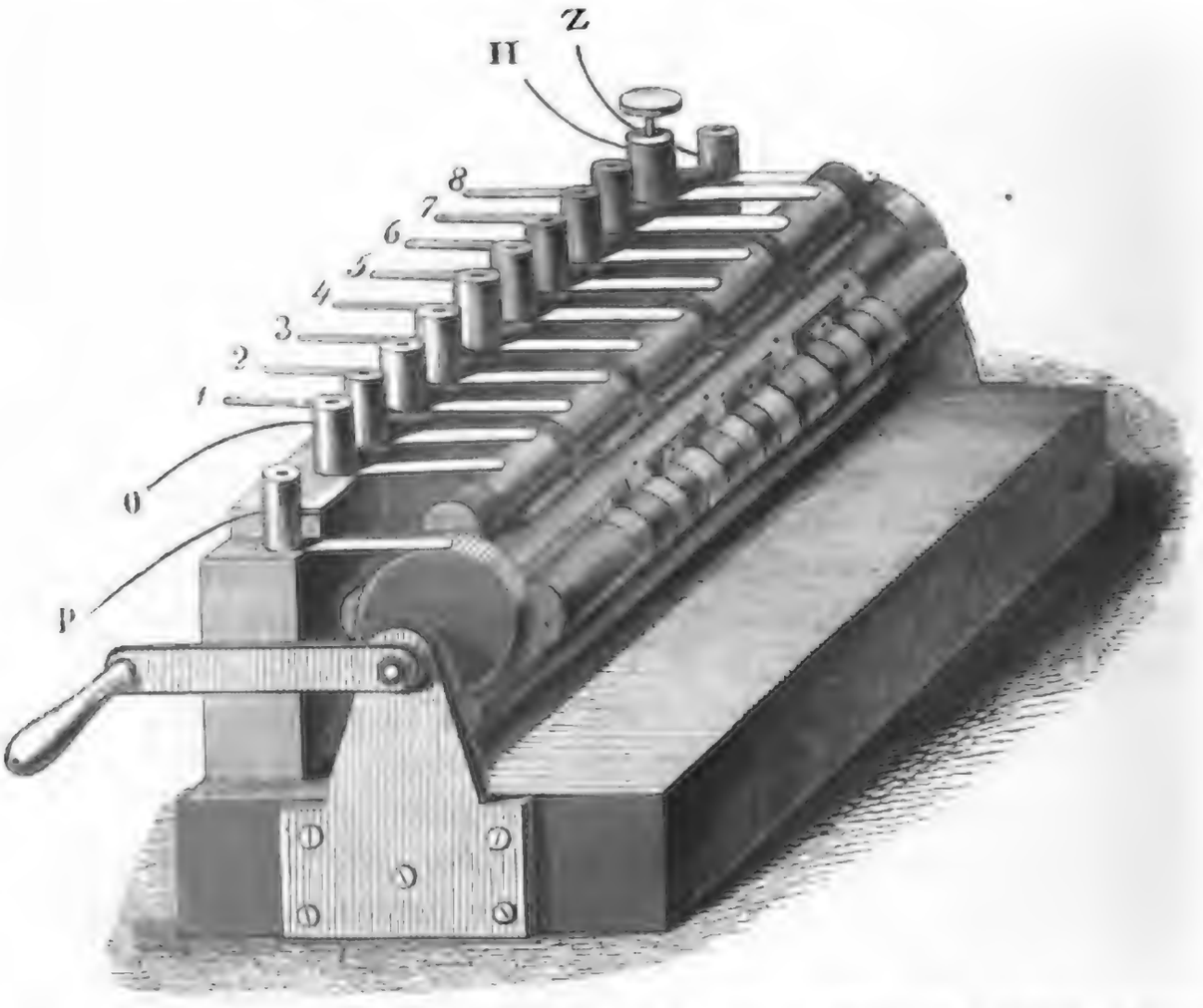
Die Herſtellung galvaniſcher Verbindungen mittelſt Queckſilber führt mehrerlei Unannehmlichkeiten mit ſich, weshalb man in neuerer Zeit vielfach bemüht war, ſie durch andere Vorrichtungen zu erſetzen; ſo hat man die Queckſilbernäpfchen durch Schraubklemmen erſetzt, man hat Commutatoren ohne Queckſilber conſtruirt u. ſ. w. Deshalb erſchien es mir denn auch wünſchenswerth, die Poggendorff'ſche Wippe durch einen Apparat zu erſetzen, welcher den gleichen Zweck ohne Queckſilber erfüllt. Ich ſchlage dazu die in Fig. 126 (a. f. S.) abgebildete Vorrichtung vor.

Auf einem vertikal ſtehenden Brette auf der linken Seite unſerer Figur iſt eine Reihe von Meſſingpfeilern angebracht, welche zum Einſchrauben

von Metalldrähten dienen; der Schraubenkopf, welcher zum Feſtklemmen der Drähte dient, iſt jedoch nur bei der vorletzten gezeichnet; alle übrigen Pfeiler müſſen mit eben ſolchen Schrauben verſehen ſeyn. — Alle dieſe Meſſingpfeiler ſtehen auf Metallfedern, welche auf einer drehbaren Walze ſchleifen; der erſte und der letzte Pfeiler ſtehen etwas tiefer als die andern.

Auf den beiden Enden der Walze ſitzen Kupferringe. Auf dem vor-

Fig. 126.



deren Kupferring ſchleift die Feder des erſten Pfeilers (deſſen eingeklemmter Draht nach *P* führt), auf den hinteren Kupferring ſchleift die Feder des letzten Pfeilers (deſſen Draht nach *Z* geht).

Dieſe Drähte führen zur Platinplatte und zur Zinkplatte des ladenden Elementes.

In den erſten und letzten der höher liegenden Pfeiler ſind die Drähte *O* und *H* eingeſchraubt, welche zu den Platinplatten des Voltameters führen.

Die Drähte 1, 2, 3, . . . 8, welche in den übrigen Pfeilern eingeklemmt ſind, führen zu den Platinplatten der ſecundären Säule.

Auf der drehbaren Holzwalze ſitzen nun, immer um 90° abſtehend, 4

halbkreisförmige Holzleisten, welche theilweise mit Streifen von Kupferblech überzogen sind; auf diesen schleifen dann während der Drehung abwechselnd die Federn der höher gelegenen Pfeiler.

Auf der Leiste, welche in der Zeichnung gerade nach Oben steht, und auf welcher die Federn jetzt gerade liegen, sind die Kupferbügel so angebracht, daß 1 mit *O*, 2 mit 3, 4 mit 5, 6 mit 7 und 8 mit *H* in leitender Verbindung ist; eben sind also die Platinplatten 1 bis 8 nach dem Princip der Säule combinirt, und durch das Voltameter geschlossen.

Die eben nach Unten gerichtete Holzleiste hat gleiche Einrichtung mit der nach Oben stehenden.

Ebenso haben die beiden diametral einander gegenüberstehenden Wulste, welche eben auf der rechten und linken Seite der Walze sich befinden, gleiche Einrichtung und zwar so, daß wenn diese mit den Metallfedern in Berührung kommen, daß alsdann die Platten 2, 4, 6 und 8 mit dem Kohlencylinder, 1, 3, 5 und 7 mit dem Zinkcylinder des ladenden Elementes leitend verbunden sind.

Des leichteren Ausdrucks wegen wollen wir die Wulste, welche eben in der Zeichnung Oben und Unten stehen, die Entladungswulste, die beiden andern die Ladungswulste nennen.

Die Einrichtung der Ladungswulste ist folgende. Ueber den Holzwulst sind 8 Kupferbügel so gelegt, daß sie mit den 8 Federn in Berührung kommen, welche den 8 Platinplatten entsprechen. Die eine Hälfte dieser Bügel (in unserer Figur von vorn an gezählt die 2te, 4te, 6te und 8te) sind mit einem Kupferstreifen verbunden, welcher zu dem vorderen Kupferring der Walze, also nach *P* führt. Auf dieselbe Weise ist die andere Hälfte der Kupferbügel (also 1, 3, 5 und 7) mit einem ähnlichen Kupferstreifen verbunden, welcher, auf der andern Seite des Holzwulstes liegend, in unserer Figur nicht sichtbar ist, und welcher zum hintern Kupferring der Walze, also nach *Z* führt; die Bügel 1, 3, 5 und 7 sind also mit dem Zinkcylinder, 2, 4, 6 und 8 sind mit dem Kohlencylinder des ladenden Elements in Verbindung, wenn der Ladungswulst oben ist.

Die Walze wird mittelst der Kurbel umgedreht; bei jeder Umdrehung erfolgt eine zweimalige Ladung und eine zweimalige Entladung der secundären Säule.

Die zweckmäßigsten Dimensionen der Walze sind 12 Centimeter Länge (für eine Säule von 4 Plattenpaaren) und (ohne die Wulste) $2\frac{1}{2}$ bis 3 Centimeter Durchmesser.

Durch ein Grove'sches Element wird bekanntlich das Wasser nur höchst unbedeutend zersetzt; es bekleiden sich die Voltameterplatten zwar mit Gasbläschen, aber nur sehr wenige steigen auf. Benutzt man aber durch Vermittlung der Wippe die einfache Kette zur Ladung der secun-

dären Säule, in deren Schließungsbogen daſſelbe Voltameter eingeſchaltet iſt, ſo erhält man, ſobald die Wippe in Bewegung geſetzt wird, eine lebhafte Waſſerzerſetzung, zum augenfälligen Beweis, daß die elektromotoriſche Kraft des ſecundären Stroms beträchtlich ſtärker iſt als die des primären.

Mit einem Voltameter, deſſen Platten auf jeder Seite ungefähr 3 Quadratzoll Fläche dem mit Schwefelſäure verſetzten Waſſer darboten, erhielt Poggendorff 5 bis 6 Kubikcentimeter Knallgas in der Minute, wenn in dieſer Zeit die Wippe etwa 80mal hin- und herging.

Der mittelſt der Wippe erhaltene ſecundäre Strom beſitzt eine elektromotoriſche Kraft, welche die des primären Stroms der einfachen Kette um ſo mehr übertrifft, je mehr Plattenpaare die ſecundäre Säule hat; dagegen iſt der chemiſche Geſammteffect, welchen der ſecundäre Strom im Voltameter hervorbringt, doch nur $\frac{1}{n}$ (wenn die ſecundäre Säule aus n Plattenpaaren beſteht) von demjenigen, welchen der primäre Strom zuvor in jeder einzelnen Zelle zur Ladung der Platten hervorgebracht hatte; denn während ſich bei dem oben angeführten Verſuche Poggendorff's im Voltameter 6 C.C. Knallgas ſammelten, mußten ſich in jeder der vier Zellen der Ladungsſäule 6 C.C. dieſer Gaſe zu Waſſer vereinigen, und dieſe Gasmenge war vorher durch die Wirkung der primären Kette aus dem Waſſer entbunden worden; in der Minute müßten alſo durch die Wirkung der primären Kette in den 4 Zellen zuſammen das Waſſer zu $6 \times 4 = 24$ Kubikcentimetern Gas elektrolyſirt worden ſeyn, damit im Voltameter 6 Kubikcentimeter frei werden können.

Ohne die Wippe würde freilich durch die directe Wirkung der einfachen Kette in den 4 Zellen (welche in dieſer Combination ein großes Plattenpaar darſtellen) noch nicht einmal 0,1 Kubikcentimeter Gas entbunden worden ſeyn, weil das Gas, welches im erſten Momente des Stromdurchgangs auftritt, ſogleich eine Polariſation der Platten bewirkt, in Folge deren nur ein äußerſt ſchwacher Strom noch circuliren kann; durch die Wippe wird aber dieſe Polariſation ſogleich wieder weggenommen und dadurch wieder eine ungeſchwächte Wirkung der ladenden Zelle möglich.

Die Platinplatten, aus denen Poggendorff ſeine ſecundäre Säule zuſammenſetzte, waren platinirt, d. h. mit Platinmohr überzogen (ſiehe Seite 280). Wenn der ſecundäre Strom einigermaßen kräftig ſeyn ſoll, ſo iſt dies durchaus nöthig; wenigſtens müſſen die negativen Platten der ſecundären Säule, d. h. diejenigen platinirt ſeyn, an denen der primitive Strom Sauerſtoff ausgeſchieden hat, und denen der ſecundäre Strom Waſſerſtoffgas zuführt. Der Einfluß des Platinirens geht aus folgenden, von Poggendorff angeſtellten Verſuchen hervor.

In fünf Minuten lieferte eine Säule von zwei Paaren Platinplatten mit einem kleinen Grove'schen Elemente und der Wippe verbunden folgende Gasmenge:

1) Alle Platten blank . . . . etwas über 1 C.C.
3) die positiven Platten platinirt 1,5
4) die negativen Platten platinirt . . . . 13 bis 14
3) alle Platten platinirt . . . . . 13 bis 14.

Die positiven Platten sind diejenigen, an denen der ursprüngliche Strom Wasserstoffgas ausgeschieden hat.

Dies rührt nicht daher, daß die platinirten Platten stärker polarisirt wurden, denn in der That werden sie weniger stark polarisirt als blanke, sondern nach Poggendorff's Meinung besteht die Wirkung des Platinmohrs darin, daß er die Verbindung des an ihm durch den primären Strom ausgeschiedenen Sauerstoffs mit dem in Folge des secundären Stromes hier nascirenden Wasserstoff begünstigt. Gegen die Art und Weise, wie Poggendorff diese Ansicht ausspricht und zu begründen sucht, ließe sich wohl mancherlei einwenden, was zu besprechen jedoch hier nicht der Ort sein dürfte.

Mit Erfolg hat Poggendorff Platten von Bunsen'scher Kohle zur Construction der secundären Säule angewandt. Eine Batterie von 2 Paaren solcher Blätter 1 Zoll breit und 1,5 Zoll tief, in verdünnte Säure getaucht, gaben im Voltameter in 5 Minuten 8 Cubikcentimeter Knallgas.

Der Polarisationsstrom, welcher eine solche secundäre Säule mittelst der Wippe liefert, ist bedeutend stärker als der einer Grove'schen Gassäule. In einer Minute liefert der intermittirende Strom einer secundären Säule von zwei Plattenpaaren mittelst der Wippe $^{14}/_{5} = 2{,}8$ C.C. Knallgas, während der continuirliche Strom einer Gassäule von 10 Zellen in 36 Stunden nur 2,1 Kubikzoll, also in der Minute ungefähr nur 0,016 Cubikcentimeter Knallgas liefert.

Aeltere Beobachtungen über das Verhalten des Eisens zur Salpetersäure. Taucht man einen Eisendraht in Salpetersäure, deren specifisches Gewicht 1,4 ist, so bräunt er sich augenblicklich, während rothe Dämpfe mit mehr oder minder starkem Aufbrausen entweichen. Dies hört aber bald wieder auf, das Eisen nimmt seinen Metallglanz wieder an, und behält ihn so lange es in der Säure bleibt, ohne daß ein weiteres Angreifen stattfindet. — Einmal in diesen Zustand der chemischen Unthätigkeit versetzt, bleibt ein solcher Draht aber auch in noch verdünnterer Säure, die diesen Zustand für sich nicht hätte hervorrufen können, unthätig. 147

Dieses merkwürdige Verhalten des Eisens gegen Salpetersäure wurde

bereits im vorigen Jahrhundert von James Keir beobachtet und bekannt gemacht (Phil. Trans. für 1790), doch ſtanden dieſe Erſcheinungen damals zu iſolirt da, als daß es möglich geweſen wäre ihre wahre Natur zu ermitteln, und ſo geriethen denn Keir's Beobachtungen in Vergeſſenheit.

Erſt nach 37 Jahren machte Wetzlar ähnliche Erfahrungen, die er in Schweigger's Jahrbuch der Chemie und Phyſik Bd. 49, S. 470, Bd. 50, S. 88 und 129, Bd. 56, S. 206 publicirte. In England nahm Herrſchel dieſen Gegenſtand wieder auf (P. A. XXXII. 211) und Fechner beobachtete ähnliche Erſcheinungen bei der Einwirkung von ſalpeterſaurem Silber auf Eiſen. Am eifrigſten hat Schönbein dieſen Gegenſtand verfolgt, und ihm gehört vor Allen das Verdienſt, den Kreis der hierher gehörigen Phänomene durch ſeine Arbeiten am meiſten erweitert zu haben.

Weil Schönbein die Erſcheinungen der Paſſivität des Eiſens (eine Bezeichnung, die durch ihn in die Wiſſenſchaft eingeführt wurde) am vollſtändigſten in ihren verſchiedenen Beziehungen verfolgt hat, dürfte es wohl am zweckmäßigſten ſeyn, ſich, was die Kenntniß der Thatſachen betrifft, vorzugsweiſe an ſeine Abhandlungen zu halten, aus denen ich das Weſentlichſte hier möglichſt überſichtlich zuſammen ſtellen will. Der geehrte Naturforſcher möge mir nicht verübeln, wenn ich hier die Bemerkung nicht unterdrücken kann, daß durch eine eigenthümlich diffuſe Darſtellungsweiſe, welche in dieſem Aufſatze herrſcht, dem Leſer die Orientirung ſehr erſchwert wird.

148 **Schönbein's Beobachtungen über die Paſſivität des Eiſens.** Die erſte Abhandlung Schönbein's, welche hierher gehört, findet ſich in Poggendorff's Annalen (XXXVII. 390).

Es iſt eine längſt bekannte Thatſache, beginnt Schönbein, daß möglichſt waſſerfreie Salpeterſäure mehrere Metalle nicht angreift, während dieſelben von einer mehr waſſerhaltigen Salpeterſäure mit Heftigkeit oxydirt werden; hierher gehört unter andern Zinn, vor allen aber das Eiſen.

Vollkommen roſtfreie Eiſen-Feilſpäne werden mit Salpeterſäure von 1,5 ſpec. Gew. übergoſſen, von der Säure nicht angegriffen. — Läßt man in die über den Feilſpänen ſtehenden Säure ſo viel Waſſer tropfen, daß ſie einen Verdünnungsgrad erhält, bei welchem ſie friſche Eiſenfeile raſch angreifen würde, ſo bleiben die vorher mit der concentrirten Salpeterſäure behandelten Feilſpäne völlig paſſiv.

Ein gleiches Verhalten zeigen Feilſpäne, wenn ſie zuerſt mit Säure von 1,5 angefeuchtet und dann mit verdünnter Säure übergoſſen werden.

Die Behandlung mit concentrirter Salpeterſäure iſt es jedoch nicht

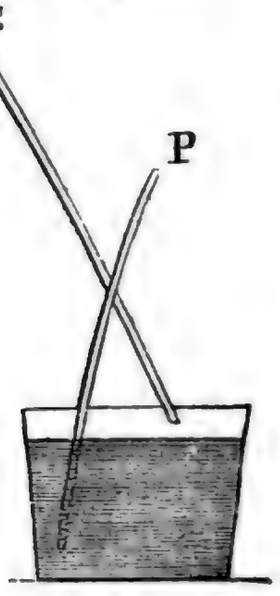
allein, welche das Eisen passiv macht. Eisenfeile, nur einige Secunden über der Weingeistlampe erhitzt, werden weder von concentrirter, noch von verdünnter Salpetersäure angegriffen.

Diese Versuche lassen sich mit Eisendrähten noch bequemer anstellen. Ein Eisendraht, in Salpetersäure von 1,5 specifischem Gewicht eingetaucht, wird passiv; ebenso dadurch, daß man ihn in einer Weingeistflamme bis zum Anlaufen erhitzt. Man kann den so passiv gemachten Draht in verdünntere Säure tauchen, ohne daß er angegriffen wird, während ein gewöhnlicher Eisendraht eine stürmische Gasentwicklung veranlaßt. Die Verdünnung der Säure darf nicht über eine gewisse Gränze hinausgehen, welche bis jetzt noch nicht bestimmt ist; nur so viel hat Schönbein ausgemittelt, daß Salpetersäure von 1,36 spec. Gew. mit den 15 und mehrfachen Volumen Wasser verdünnt, geglühte Eisendrähte ebenso angreift, wie gewöhnliche.

Bringt man einen Eisendraht in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew., so wird er mit stürmischer Heftigkeit angegriffen; nimmt man den Draht nach etwa einer Secunde wieder aus der Säure heraus, hält man ihn einige Augenblicke in der Luft und taucht ihn dann abermals in die Flüssigkeit ein, so wird die Wirkung der Säure auf das Eisen schon merklich schwächer seyn; nach drei bis viermaligem Eintauchen und Herausnehmen tritt eine ziemlich langsame Action ein, und bei der fünften, spätestens bei der sechsten Eintauchung erfolgt absolute chemische Indifferenz des Eisendrahtes, welche an dem vollkommen metallisch glänzenden Zustande der Oberfläche des in die Säure tauchenden Drahtendes erkannt wird, der überhaupt das in Salpetersäure passiv gemachte Eisen charakterisirt.

Aus den eben mitgetheilten Thatsachen ergiebt sich noch keinerlei Beziehung zwischen der Passivität des Eisens zu seinen elektrischen Eigenschaften; daß aber solche Beziehungen stattfinden, ergiebt sich aber zunächst aus folgender Methode, das Eisen passiv zu machen.

Fig. 127.



Taucht man in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. zuerst einen Platindraht *P*, Fig. 127, berührt man denselben mit einem wohl gereinigten Eisendraht, so wird derselbe nicht von der Säure angegriffen, wenn man ihn in die Flüssigkeit eintaucht, während er außerhalb fortwährend mit dem Platindraht in Berührung bleibt, obgleich derselbe Draht für sich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird.

Taucht man statt des Platindrahtes das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes in die Flüssigkeit, so kann dieser vollkommen die Rolle des Platindrahtes im vorigen Versuch übernehmen.

Fig. 128. stellt eine Variation dieses Versuchs dar. Das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahts werde in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. getaucht. — Es wird nicht angegriffen. Biegt man aber nun den Draht um, so wird auch das ungeglühte Ende *E* beim Eintauchen in die Flüssigkeit nicht angegriffen, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Ende *E* in die Flüssigkeit eintaucht, ohne daß sich das geglühte Ende *P* schon darin befindet.

Fig. 128.

Es muß hier noch beigefügt werden, daß die erwähnten Erscheinungen der Passivität nicht mehr eintreten, wenn die Temperatur der Säure bis auf 80^0 gesteigert wird, und daß sie sich überhaupt um so schwieriger zeigen, je mehr die Säure sich diesem Wärmegrade nähert.

Hat man den Draht *E*, Fig. 127 in die Flüssigkeit eingeschoben, während er außerhalb mit *P* in Berührung blieb, so kann man nun *P* ganz entfernen, ohne daß der Draht *E* seine Passivität verliert; ja man kann mit dem auf die erwähnte Weise passiv gemachten Drahte *E* die Passivität auf einen weitern gewöhnlichen Eisendraht in derselben Weise übertragen, wie man sie von *P* und *E* übertrug.

Fig. 129.

Der in Fig. 129 schematisch dargestellte Versuch ist für die Theorie der Passivität von besonderer Wichtigkeit. An dem einen Drahtende eines Galvanometers befestige man einen geglühten Eisendraht, an dem andern einen gewöhnlichen Eisendraht. Taucht man nun zuerst den passiven und dann den andern Eisendraht in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. so zeigt das Galvanometer einen alsbald wieder vorübergehenden Strom in der Richtung vom Eisen durch die Flüssigkeit zum Platin an.

Diese Versuche lassen uns schon einen tiefen Blick in das Wesen der Passivität des Eisens thun. Zunächst ist klar, daß die durch das Glühen des Eisendrahtes gebildete Oxydulschicht den Eisendraht vor dem Angriff der Säure schützt, und dadurch ist die Idee nahe gelegt, daß das passive Eisen selbst in solchen Fällen, wo eine solche Schicht nicht sichtbar wird, wie z. B. beim Eintauchen in concentrirte Salpetersäure, dennoch diese Eigenschaft einer dünnen Oxydulschicht zu verdanken hat. — Dann aber zeigt der Umstand, daß man den Platindraht, Fig. 127, mit einem geglühten Eisendraht vertauschen kann, daß das durch Glühen gebildete Eisenoxydul ganz wie Platin functionirt, daß durch eine solche Oxydulschicht das Eisen gewissermaßen eine negative galvanische Polarisation erleidet.

Alle passiven Eisendrähte werden in heißer Säure wieder in active ver-

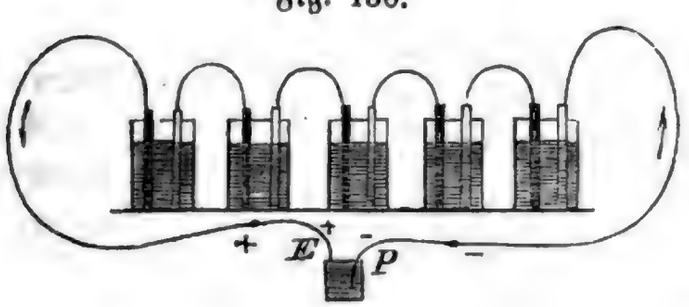
wandelt. Es zeigt sich jedoch in der Leichtigkeit, mit welcher die Drähte ihren passiven Zustand mit dem activen vertauschen, ein beträchtlicher Unterschied zwischen denen, welche durch Glühen passiv gemacht sind, und solchen, welche dadurch passiv gemacht wurden, daß sie, einen schon passiven Draht berührend, in die Flüssigkeit eingetaucht wurden. Wir wollen erstere *ursprünglich passive*, letztere dagegen *secundäre passive* nennen. Die ursprünglich passiven zeigen wohl nur darum eine größere Beständigkeit ihrer Passivität, weil sie durch eine dickere Schicht geschützt sind.

Alles was die schützende Hülle vernichtet, macht den Draht wieder activ.

Verhalten eiserner Elektroden. In dem Fig. 127 dargestellten 149
Versuch bildet *E* offenbar den positiven Pol einer *einfachen* Kette, es ließ sich also erwarten, daß man Eisen auch dadurch passiv machen kann, daß man es als + Pol einer *Volta'schen Säule* in eine Säure taucht, die ihn an und für sich angreifen würde.

Schönbein hat den Versuch wirklich angestellt (P. A. XXXVII. 391). An dem + Pol einer aus 15 nicht constanten Zinkkupferelementen bestehenden Säule (einige Becher einer constanten Batterie reichen zu diesem Versuche ebenfalls aus) war ein Eisendraht befestigt, während der negative Pol dieser Säule mit einem Platindraht endigte. Zunächst wurde der negative Platindraht in ein Gefäß mit Salpetersäure von 1,36 spec. Gew. eingetaucht und dann die Kette durch Eintauchen des durch den Eisendraht gebildeten + Pol in dieselbe Säure geschlossen, wie Fig. 130 andeutet; es zeigte sich dieser Eisendraht vollkommen passiv, d. h. er wurde von der Säure in keiner Weise angegriffen, und besaß nach Abtrennung von der Säule dieselben Eigenschaften, wie ein durch Glühen passiv gemachter Draht.

Fig. 130.



Bleibt der passive Eisendraht fortwährend als + Pol der Kette in der Säure eingetaucht, so zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, daß der in Folge der Elektrolyse an demselben ausgeschiedene Sauerstoff sich nicht etwa mit dem Eisen verbindet, sondern frei an demselben aufsteigt, gerade so, als ob der + Pol der Kette durch einen Platindraht gebildet würde. — Die Oxydschicht also, welche sich unter den erwähnten Umständen gleich beim Eintauchen des Eisendrahtes in die Flüssigkeit bildet, schützt ihn also vollkommen vor fernerer Oxydation.

Zum Gelingen dieses Versuchs ist keineswegs Salpetersäure von 1,35 spec. Gewicht nöthig, man kann dieselbe noch über ihr 100 faches Volumen mit Wasser verdünnen und immer noch wird der zuletzt in die Flüssigkeit

eingetauchte eiſerne + Pol der Säule paſſiv werden, immer noch wird an demſelben ausgeſchiedener Sauerſtoff frei als Gas aufſteigen.

Ganz ähnliche Erſcheinungen finden Statt, wenn anſtatt verdünnter Salpeterſäure verdünnte Schwefelſäure oder Phosphorſäure angewendet wird. Soll in dieſer Säure der Sauerſtoff am poſitiven Eiſendraht ſich frei entwickeln, ſo muß ebenfalls erſt der negative Pol der Säule zuerſt in die Flüſſigkeit eintauchen, und dann erſt der mit dem poſitiven Pol verbundene Eiſendraht in dieſelbe eingeführt werden.

Taucht man den poſitiven eiſernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in die verdünnte Säure, ſo wird er angegriffen; eben ſo wenig wird der Eiſendraht paſſiv, wenn man ihn abgetrennt vom poſitiven Pol der Säule in die verdünnte Säure taucht, mag der negative Pol bereits in dieſelbe eingeführt ſeyn oder nicht. Kurz, wenn das Eiſen paſſiv werden ſoll, ſo darf es der chemiſchen Einwirkung der verdünnten Säure nicht vor der Stromwirkung ausgeſetzt ſeyn.

Wendet man ſtatt der verdünnten Säure in dieſem Verſuch die wäſſerige Löſung einer Sauerſtoffverbindung an, welche nicht merklich chemiſch auf das Eiſen einwirkt, wie Löſungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen, ſo wird das Eiſen immer paſſiv, wie man auch die Kette ſchließen mag; bei Anwendung von Kalilauge z. B. oder Salpeterlöſung wird das mit dem poſitiven Pole verbundene Eiſen ſtets paſſiv, man mag nun den negativen oder poſitiven Pol zuerſt in die Flüſſigkeit tauchen. (P. A. XXXVIII. 492).

Darauf gründet ſich die Conſtruction von Voltametern, welche durch Platten von Eiſenblech gebildet ſind, die in Kalilauge eintauchen. In ſolchem Voltameter entwickelt ſich der Sauerſtoff frei an der poſitiven Polpatte, ohne das Eiſen anzugreifen.

Fig. 131.

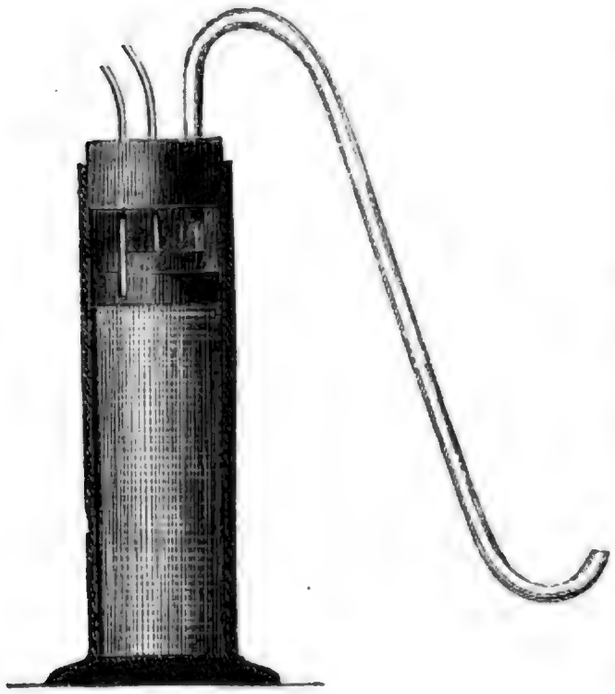


Fig. 131. ſtellt ein von Bunſen conſtruirtes Voltameter mit Eiſenplatten dar. In einem cylindriſchen Standglaſe von 6 bis 8 C. Durchmeſſer und 30 bis 35 Cent. Höhe befinden ſich zwei concentriſche Cylinder von Eiſenblech, welche durch eine von Kalilauge nicht angreifbare und zugleich iſolirende Subſtanz,

am besten durch Stränge von gesponnenem Glas außer Berührung gehalten werden. Das mit Kalilauge gefüllte Gefäß ist mit einem wohl passenden Kork verschlossen, durch welchen, außer dem Gasentbindungsrohre, noch zwei Kupferdrähte hindurch gehen, von denen jeder an einer Eisenplatte angelöthet ist, und welche mit den Polen der Säule in Verbindung gebracht werden.

Ist ein solches Voltameter einmal gut hergerichtet, so kann man es, mit der Kalilauge gefüllt, immer zum Gebrauch bereit stehen lassen.

Um ein starkes Aufbrausen der Kalilauge bei der Gasentwickelung zu verhindern, gießt man eine etwa eine Linie hohe Schicht von Terpentinöl darauf.

Mittelst Eisenplatten kann man sich auf diese Weise ein Voltameter mit verhältnißmäßig großen Elektroden für wenig Kosten verschaffen. Ein solches Voltameter ist im Stande eine große Menge Knallgas in kurzer Zeit zu liefern, doch ist die Gasentwickelung bei weitem nicht so stark, als man nach der Größe der Platten erwarten sollte, wahrscheinlich, weil die Kalilauge bedeutend schlechter leitet, als die verdünnte Schwefelsäure der gewöhnlichen Platinvoltameter.

Nach meinen Beobachtungen ist ein solches Eisenblech-Voltameter zu genauen Versuchen nicht geeignet. Ich habe die Beobachtung gemacht, daß das Maximum der Gasentwickelung erst einige Zeit nach der Schließung der Kette eintritt, und daß das Aufsteigen der Gasbläschen nicht gleich mit der Unterbrechung des Stromes aufhört, sondern noch eine Zeit lang fortdauert. Es hat dies wohl in einer Absorption der Gase durch die Flüssigkeit seinen Grund.

Während bei Anwendung wässeriger Lösungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen das Eisen passiv wird, wie man auch die Kette schließen mag, so wird umgekehrt das Eisen nie passiv, auf welche Weise auch die Schließung bewerkstelligt werden mag, wenn die eisernen Elektroden in eine wässerige Lösung einer nicht sauerstoffhaltigen elektrolytischen Verbindung eingetaucht werden, deren negativer Bestandtheil eine große Verwandtschaft zum Eisen hat, wie Wasserstoffsäuren, Halogensalze, Schwefelmetalle u. s. w. In solchen Lösungen wird das Eisen stets angegriffen, und es entwickelt sich nie freier Sauerstoff an demselben.

Bei den auf Seite 361 u. 362 beschriebenen Versuchen war das ursprünglich passive und das secundär passive Drahtende in dasselbe mit Säure gefüllte Gefäß eingetaucht worden. Schönbein hat den Kreis der Erscheinungen dadurch noch mannichfaltiger gemacht, daß er zwei, auf verschiedene Weise verbundene mit Säure gefüllte Gefäße anwandte (P. A. XL. 193.).

Die Gefäße *A* und *B*, Fig. 132, seyen mit Salpetersäure von 1,3 bis 1,36 spec. Gew. gefüllt. Taucht man das durch Glühen passiv gemachte Drahtende *p* in *A* ein, hierauf das ungeglühte Ende *a* in *B*, so wird *a* lebhaft ange-

griffen. Taucht man nun eine zweite Gabel von Eisendraht, deren beide Enden ungeglüht sind, so ein, daß zuerst d in B eingesenkt und dann erst p' in A eingetaucht wird, so wird p' passiv, p und p' bleiben unangegriffen, während an a und d eine lebhafte Gasentwickelung stattfindet.

Fig. 132.

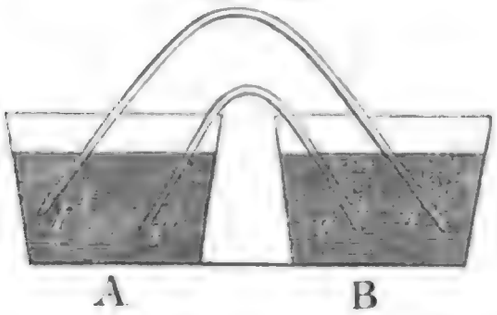
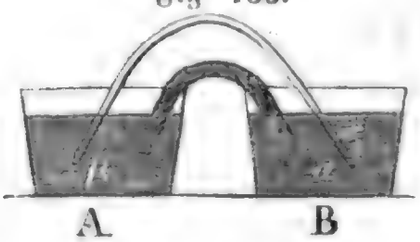


Fig 133.



Im Wesentlichen ist dies nichts anderes, als eine andere Form des in Fig. 134 dargestellten Versuchs.

Die mit Säure von 1,3 bis 1,37 gefüllten Gefäße A und B Fig. 133 seyen durch ein mit derselben Säure getränktes Asbestbündel verbunden. Man tauche nun in A das passive Ende eines Eisendrahtes ein, und nachher erst das andere Ende a in B, so wird a nicht passiv, sondern es wird lebhaft angegriffen. —

Hier ist offenbar der Strom, welcher a passiv machen sollte, des zu großen Leitungswiderstandes wegen, zu schwach. Ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht ist der Umstand, daß wenn man in A zuerst den durch einen Platindraht oder passiven Eisendraht gebildeten negativen Pol einer Säule eintaucht und alsdann erst in B einen mit dem negativen Pol derselben verbundenen Eisendraht, daß dieser nun passiv wird.

Ersetzt man bei dem Versuch Fig. 133 das Asbestbündel durch einen mit der Säure gefüllten Heber, so ist der Erfolg der gleiche, d. h. das zuletzt eingetauchte Drahtende a wird nicht passiv.

Denselben Erfolg erhält man, wenn die Gefäße statt durch einen Heber durch einen Platindraht verbunden werden. Hier ist die galvanische Polarisation am Platin die Ursache der Stromschwächung.

Ersetzt man den Platindraht durch den Draht eines Metalls, welches von der Säure angegriffen wird, so fällt der beim Platin auftretende Grund der Stromschwächung weg, und in diesem Falle wird auch das zuletzt in B eingetauchte Ende a des Eisendrahtes passiv.

150 **Passives Eisen in einer Lösung von Kupfervitriol.** Ein Eisendraht mit dem positiven Pole einer Säule verbunden und in eine Auflösung von Kupfervitriol eingeführt, die bereits in Verbindung mit dem negativen Pole steht, Fig. 134 (a. f. S.), verhält sich gegen diese Flüssigkeit vollkommen indifferent, d. h. es schlägt sich an diesem Draht kein Kupfer nieder, und es entwickelt sich an ihm Sauerstoffgas.

Bei jeder andern als der erwähnten Schließungsweise tritt diese Passivität des Eisens nicht ein.

Ein Eisendraht, den man durch einmaliges Eintauchen in sehr concentrirter Salpetersäure oder durch mehrmaliges in gewöhnliche passiv gemacht hat, zeigt diese Passivität auch gegen eine Auflösung von Kupfervitriol, d. h. er besitzt nicht mehr die Fähigkeit, der Flüssigkeit Sauerstoff zu entziehen und in Folge dessen Kupfer zu fällen.

Fig. 135.

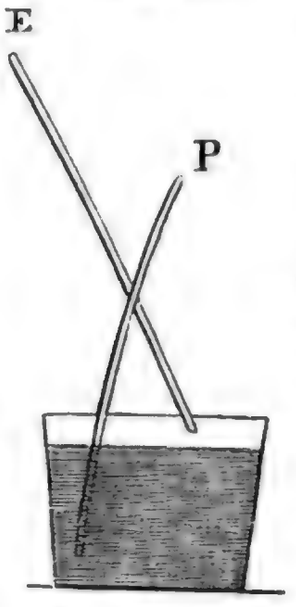
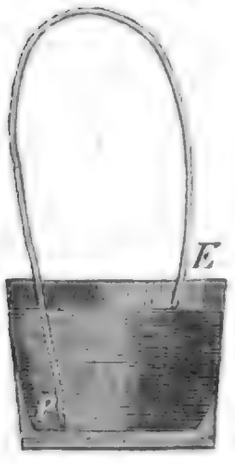


Fig. 134.



Wiederholt man den in Fig. 134 dargestellten Versuch, nachdem man die Salpetersäure mit einer Auflösung von Kupfervitriol vertauscht hat, so zeigt sich, daß man die Passivität nicht von dem passiven Drahtende *P* auf das andere *E* übertragen kann, wie dies in Salpetersäure der Fall war, d. h. wenn man das durch Eintauchen in concentrirte Säure passiv gemachte Drahtende *P* in eine Lösung von Kupfervitriol eintaucht, alsdann den Draht umbiegt, und das Drahtende *E* nun gleichfalls in die Flüssigkeit einführt, so schlägt sich an *E* das Kupfer nieder.

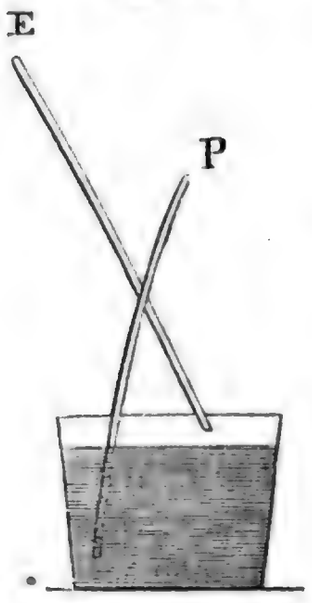
Da ein mit dem positiven Pol einer Säule verbundener Eisendraht sich ganz anders verhält, so vermuthete Schönbein mit Recht, daß der Fig. 134 dargestellte Versuch mit einer Lösung von Kupervitriol nur darum ein negatives Resultat liefert, weil der Strom, welcher die Passivirung des zuletzt eingetauchten Endes bewirken soll, bei dieser einfachen Kette zu schwach ist.

Aus diesem Grunde ist überhaupt die Uebertragung der Passivität von einem Eisendraht auf den andern, welche wir oben kennen gelernt haben und welche durch Fig. 135 versinnlicht worden ist, bei Anwendung einer Auflösung von Kupfervitriol statt der Salpetersäure nicht möglich.

Gelingt es, den Strom dadurch zu verstärken, daß man den Draht *P* negativer macht als ein Platindraht oder passiver Eisendraht ist, so muß die Uebertragung auch in einer Lösung von Kupfervitriol möglich seyn. Von dieser Betrachtung ausgehend kam Schönbein auf folgende Form des Versuchs. Das eine Ende eines längeren Eisendrahtes wurde mit Bleihyperoxyd überzogen und das so präparirte Ende *P* in eine Lösung von Kupfervitriol getaucht; wird nun der Draht umgebogen und auch

das nicht präparirte Ende *E*, Fig. 134, in die Flüssigkeit eingetaucht, so zeigt sich *E* passiv, es fällt kein Kupfer.

Fig. 136.



Während der Passivirung von *E* verschwindet hierbei nach und nach das Bleihyperoxyd an *P*, und *P* wird activ, sobald das Bleihyperoxyd, welches dieses Drahtende überzieht vollkommen verschwunden ist.

Bei der Fig. 136 dargestellten Uebertragung der Passivität von einem Eisendraht auf den andern in Salpetersäure, wird die schützende Oxydschicht auf *E* offenbar dadurch erzeugt, daß durch den Strom dem Drahtende *E* gleich die nöthige Sauerstoffmenge zugeführt wird. Der Strom aber, welcher in *E* Sauerstoff ausscheidet, muß bei *P* Wasserstoff entwickeln, welcher der schützenden Oxydschicht von *P* Sauerstoff entzieht; man sollte also denken, daß der nämliche Strom, welcher die Bildung der schützenden Oxydschicht um *E* veranlaßt, auch das Verschwinden derselben an *P* veranlassen müsse, oder mit andern Worten, daß die Passivirung von *E* die Activirung von *P* zur Folge haben müßte, vorausgesetzt, daß *P* selbst nur ein secundär passiver Draht ist, also nicht durch eine sehr dicke Schicht geschützt ist.

Der Versuch zeigt aber, daß man mit einem secundär passiven Draht in Salpetersäure von 1,36 spec. Gew. einen weiteren passiv machen kann, ohne daß der erstere activ wird, was wohl darin seinen Grund hat, daß in dem frei werdenden Wasserstoff, wenigstens theilweise, durch die Salpetersäure reducirt wird, also die Oxydschicht nicht völlig reduciren kann. Dauert aber der Strom längere Zeit an, wie es der Fall ist, wenn man statt *E* einen Zink- oder Kupferstreifen an *P* herab in die Säure gleiten läßt, welche beide nicht passiv werden, so wird die schützende Schicht um *P* alsbald gelöst, und *P* selbst activ. Selbst mit einem Eisendraht *E* kann man *P* wieder activ machen, wenn man eine verdünntere Säure anwendet.

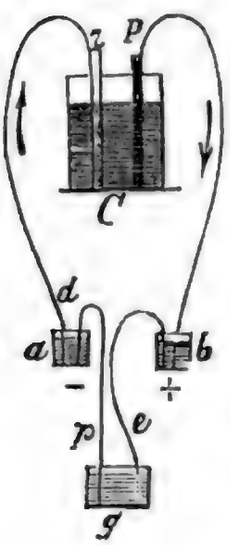
151 **Pulsiren der Passivität.** In Betreff der Intensität, mit welcher die Salpetersäure einen Eisendraht angreift, lassen sich zwei Hauptgrade unterscheiden, die wir die langsame und die rasche Einwirkung nennen wollen. Die langsame Einwirkung ist dadurch charakterisirt, daß sie augenblicklich aufgehoben wird, sobald man den Eisendraht mit einem in die Säure eingetauchten Platindraht berührt; das der langsamen Ein-

wirkung der Säure ausgesetzt gewesene Eisen wird auf diese Weise passiv. — Auf einen Eisendraht, welcher der raschen Einwirkung der Säure ausgesetzt ist, an welchem also eine lebhafte Gasentwickelung stattfinden kann, hat diese Behandlung mit einem Platindraht keinen Einfluß, er läßt sich dadurch nicht passiv machen.

Hat man einen Eisendraht durch wiederholtes Eintauchen in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. passiv gemacht, berührt man ihn, während er sich noch in dieser Flüssigkeit befindet, mit einem Kupfer- oder Messingdrahte, welcher gleichfalls in die Säure eingetaucht ist, so wird der Eisendraht, wie dies schon angeführt wurde, activ, und zwar langsam activ. Diese Thätigkeit ist jedoch keine stetige, sondern sie findet stoßweise Statt; mit andern Worten, es wird unter diesen Umständen der Eisendraht abwechselnd activ und passiv, und dies geschieht anfänglich in Intervallen von etwa einer Secunde, welche jedoch im Verlaufe der Action immer kürzer werden, bis endlich die rasche Wirkung eintritt.

Läßt man jeden der Zutretungsdrähte einer kräftigen einfachen Kette C, Fig. 137, in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen treten, verbindet man alsdann das Näpfchen a, in welches der negative Leitungsdraht eintaucht, durch einen Platinstreifen p mit der Flüssigkeit (11 Raumtheile Wasser auf 1 Raumtheil Schwefelsäure) der Zersetzungszelle g; taucht man hierauf das eine Ende eines gewöhnlichen Eisendrahtes e in das positive Quecksilbernäpfchen b, und dann das andere Ende desselben Drahtes in das gesäuerte Wasser der Zersetzungszelle, so wird das Eisen passiv, und es entwickelt sich begreiflicherweise an dem Platinelektroden p kein Wasserstoff, da wegen der Polarisation an p die elektromotorische Kraft von C nicht hinreicht, einen merklichen Strom durch g hindurchzutreiben.

Fig. 137.



Schließt man die Kette aber auf eine andere Weise, etwa so, daß man den Eisendraht e erst in g und dann in b eintaucht, so wird der Eisendraht nicht passiv, g wird selbst zu einer Erregungszelle, deren Strom sich mit dem des constanten Elementes combinirt, und so tritt denn an p eine lebhafte Entwickelung von Wasserstoff ein, während der Eisendraht verzehrt wird.

Ist die Kette so geschlossen worden, daß e passiv ist, daß also an p kein Wasserstoffgas aufsteigt, so giebt es nun verschiedene Mittel, e wieder activ zu machen, worauf alsbald das Gas bei p aufzusteigen beginnt. Ein Mittel, diese Gasentwickelung hervorzurufen, besteht darin, daß man die Kette an irgend einer Stelle unterbricht und nach einiger Zeit wieder

ſchließt; zieht man z. B. den Draht *d* aus *a* heraus, ſo wird *e* alsbald activ, und wenn man nun *d* wieder eintaucht, ſo findet eine lebhafte Gasentwickelung an dem Platinſtreifen *p* Statt.

Um die Paſſivität von *a* zu erhalten, muß das conſtante Element mit einer gewiſſen Energie den Strom durch *g* durchzutreiben ſtreben, deshalb hört ſie auch auf, wenn die Kette unterbrochen wird. Die Energie, mit welcher das conſtante Element den Strom durch *g* hindurch zu treiben ſtrebt, kann aber auch dadurch geſchwächt werden, daß man eine gute Nebenſchließung anbringt.

Verbindet man die Queckſilbernäpfchen *a* und *b* durch einen kurzen dicken Kupferdraht, ſo geht durch dieſen faſt der ganze Strom, welcher das conſtante Element zu erzeugen vermag, *e* verliert ſeine Paſſivität, und nun geht auch ein Theil des von *C* erregten Stromes durch *g*, was ſich durch eine Gasentwickelung kund giebt.

Verbindet man dagegen, während *e* noch paſſiv iſt, *a* und *b* durch einen Draht, welcher einen bedeutenden Leitungswiderſtand ausübt, ſo iſt der Strom, welchen er leiten kann, zu unbedeutend, um eine Aufhebung der Paſſivität des Eiſendrahtes *e* zu veranlaſſen; durch einen ſolchen Draht kann man eine Gasentwickelung an *p* hervorrufen.

Zwiſchen dieſen beiden Gränzen der Leitungsfähigkeit des die Queckſilbernäpfchen *a* und *b* verbindenden Drahtes, dem ſehr gut leitenden nämlich, durch welchen die Paſſivität von *e* vollſtändig aufgehoben und eine dauernde Gasentwickelung an *p* hervorgebracht wird, und dem ſehr ſchlecht leitenden Draht, welcher gar keine Aufhebung der Paſſivität von *e* zu Stande bringen kann, liegt aber eine gewiſſe Drahtlänge in der Mitte, durch welche die Paſſivität von *e* abwechſelnd aufgehoben und wieder hergeſtellt wird, ſo daß an *p* eine ſtoßweiſe, durch Ruhepauſen unterbrochene Gasentwickelung ſtattfindet.

Die Länge und Dicke der Drähte, welche die beſchriebenen Effecte hervorbringen, hängt von den Umſtänden ab. Bei Schönbein's Verſuchen bewirkte ein Kupferdraht von 3 Zoll Länge und ½ Zoll Durchmeſſer eine dauernde Gasentwickelung an *p*. Ein 40 Fuß langer Draht von derſelben Dicke hob die Paſſivität von *e* nicht auf. Ein Draht von der nämlichen Dicke und 16 bis 20 Fuß Länge brachte aber jene Pulſationen in der Gasentwickelung hervor. Unmittelbar nach der Schließung dauerte es einige Zeit, bis die Gasentwickelung an *p* anfing; ſie war lebhafter als die, welche durch kürzere Drähte hervorgebracht wird, hörte aber nach einigen Secunden wieder auf, um bald wieder zu beginnen. So wechſelten Thätigkeit und Unthätigkeit, bis endlich ein dauernder Zuſtand der Unthätigkeit eintrat (P. A. LVII. 63).

152 **Theorie der Paſſivität.** Beim Ueberblick der bisher beſprochenen

Thatsachen kann wohl die Theorie der Passivität kaum mehr zweifelhaft seyn, sie ergiebt sich aus den Erscheinungen leicht und ungezwungen, wenn auch manche Einzelheiten noch einer nähern Untersuchung bedürfen.

Es kann wohl als gewiß betrachtet werden, daß die Erscheinungen der Passivität des Eisens durch eine Oxydul- oder Oxydschicht vermittelt werden, welche einerseits das Eisen vor dem Angriff der Säure schützt, andererseits aber in ähnlicher Weise elektromotorisch wirkt wie die Bleihyperoxydschicht, welche eine Platinplatte bekleidet.

Wie diese Schicht zusammengesetzt ist, unter welchen Bedingungen sie sich bildet, unter welchen sie sich auflöst, sind freilich Fragen, welche noch keineswegs für alle Fälle genügend beantwortet sind, doch liegt darin kein Grund, die oben angedeutete Basis der Erklärung zu verlassen.

Die Bildung der Oxydulschicht beim Glühen der Eisendrähte ist klar. — Damit sich eine ähnliche Schicht beim Eintauchen in eine Flüssigkeit bilden kann, ist es nöthig, daß dem Eisen die zur Bildung der Oxydschicht nothwendige Menge Sauerstoff zugeführt wird, bevor noch irgend eine andere chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf das Eisen stattfinden kann.

Concentrirte Salpetersäure ist so reich an Sauerstoff, daß das bloße Eintauchen eines Eisendrahtes in dieselbe genügt, um die passiv machende Schicht zu bilden. Wie es kommt, daß ein Eisendraht durch wiederholtes Eintauchen in Säure von 1,35 passiv wird, ist noch nicht recht klar gemacht.

In Flüssigkeiten, welche weniger sauerstoffreich sind, muß ein galvanischer Strom die Zuführung des Sauerstoffs an das Eisen unterstützen, wenn sich die Oxydhülle bilden soll, und zwar muß die den Strom erregende elektromotorische Kraft um so stärker seyn, je weniger leicht ausscheidenden Sauerstoff die Flüssigkeit enthält. In Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. genügt schon die Combination des Eisendrahtes mit Platin; bei verdünnter Schwefelsäure muß man schon eine Volta'sche Säule in Anwendung bringen.

Daß ein Eisendraht, welcher durch bloßes Eintauchen in concentrirte oder durch Combination mit Platin in verdünnter Salpetersäure passiv gemacht worden ist, seinen vollen Metallglanz zeigt, kann keinen Grund abgeben, das Vorhandenseyn einer dünnen Oxydschicht in diesem Falle in Zweifel zu ziehen, denn diese Schicht muß bei wachsender Dicke die Schattirungen der Newton'schen Farbenringe durchlaufen; so lange also die Schicht nur noch eine den Farben der ersten Ordnung entsprechende Dicke hat, kann sie dem Metallglanz des Drahtes höchstens eine schwache Nüancirung in's Bläuliche oder Gelbliche ertheilen.

In elektromotoriſcher Beziehung ſteht die das Eiſen paſſiv machende Schicht dem Platin ſehr nahe.

Betrachten wir noch kurz die von verſchiedenen Phyſikern aufgeſtellten Erklärungen der Paſſivitätserſcheinungen.

Faraday (Phil. Magaz. 1836, Juli, Seite 53) nahm an, das Eiſen überziehe ſich in der concentrirten Salpeterſäure mit einer unlöslichen Oxydſchicht. Dieſe Anſicht wurde zwar von manchen Seiten angegriffen; alle Thatſachen in ihrem Zuſammenhange gehörig würdigend, kann man jedoch nicht umhin, dieſelben als die Baſis der richtigen Theorie der Paſſivität zu betrachten.

Mouſſon und de la Rive nehmen an, daß das Eiſen durch eine Schicht ſalpetriger Säure geſchützt werde (P. A. XXXIX. S. 330), eine Hypotheſe, deren Unhaltbarkeit Schönbein (P. A. XXXIX. S. 342) genügend darthut. In der That kann eine ſolche Schicht ſalpetriger Säure ſchon deshalb nicht als Erklärungsgrund der Paſſivität des Eiſens gelten, weil, wie wir geſehen haben, die Paſſivitätserſcheinungen keineswegs auf Salpeterſäure beſchränkt ſind.

Martens ſtellt die Behauptung auf (P. A. XXXVII. 393, LXI. 121), daß die Paſſivität, welche das Eiſen durch Erhitzen annimmt, von ſeiner Oxydation unabhängig ſei, eine Meinung, deren Unzuläſſigkeit ſowohl Schönbein (P. A. LIX. 149) als auch Beetz (P. A. LXII. 234) experimentell widerlegt haben.

Schönbein ſelbſt, welcher doch das meiſte Material zum Aufbau einer Theorie der Paſſivität zuſammenbrachte, hat zwar ſeine Abhandlungen über dieſen Gegenſtand vielfach mit theoretiſchen Betrachtungen durchwebt, glaubt aber nicht, ſich entſchieden für irgend eine der bis dahin vorgeſchlagenen Erklärungen ausſprechen zu können. Er betrachtet alſo die Erklärung der Paſſivitätserſcheinungen als eine noch offen ſtehende Frage.

Die zu Anfang dieſes Paragraphen entwickelten Anſichten über das Weſen und den Grund der Paſſivitätserſcheinungen ſtimmen im Weſentlichen mit denjenigen überein, welche Beetz (P. A. LXVII. 186) und Rollmann (P. A. LXXIII. 406) vertreten. Letzterer hat noch einen neuen Beweis für die Exiſtenz der Oxydſchicht auch bei dem in Flüſſigkeiten paſſiv gemachten Eiſen beigebracht, er hat nämlich gezeigt, daß das Paſſivmachen eines Eiſendrahtes ſtets mit einer Verminderung ſeiner Leitungsfähigkeit verbunden iſt, was offenbar nur einer ſchlecht leitenden Hülle zugeſchrieben werden kann.

Endlich habe ich noch einer neuen Reihe von Verſuchen zu erwähnen, welche Wetzlar 20 Jahre nachdem er zuerſt das chemiſche Publikum mit der merkwürdigen Indifferenz bekannt gemacht hatte, welche

das so oxydabele Eisen in einigen Flüssigkeiten zeigt, die ihren Sauerstoff leicht abgeben, angestellt hat.

Wetzlar hat das elektromotorische Verhalten des auf verschiedene Weise behandelten Eisens nicht mit dem Galvanometer, sondern mit einem condensirenden Bohnenberger'schen Elektroskop untersucht.

Zu seinen Versuchen gebrauchte er Scheiben von Schmiedeeisen und Stahl, die bei einer Dicke von einigen Linien $2^1/_2$ bis $2^3/_4$ Zoll im Durchmesser besaßen, und mit ihren in Berührung zu setzenden, gut abgeschliffenen Flächen vollkommen auf einander paßten. Die der Berührungsoberfläche entgegengesetzte Seite besaß in der Mitte ein Gewinde zum Einschrauben eines isolirenden Handgriffs.

Wetzlar fand folgende Resultate:

1) Wenn man von zwei blanken und metallisch glänzenden Eisen- oder Stahlscheiben, die nach einem vorläufigen Versuch am Condensator sich vollkommen homogen verhalten, die eine mit Rost oder Smirgelpapier abreibt, so verhält sie sich positiv gegen die andere nicht abgeriebene.

In diesem Falle reichten 8 bis 10 Berührungen und Uebertragungen an die Collectivplatte des Condensators hin, um diesen eine vollständige Ladung zu erheilen.

2) Befeuchtet man die Berührungsoberfläche einer blanken Stahlscheibe mit destillirtem Wasser, führt man dieses 1—2 Minuten mit reinem Fließpapier reibend auf derselben herum, so verhält sich die Scheibe nach dem Abtrocknen negativ gegen eine zweite, vorher mit ihr homogen gewesenen.

3) Wird eine Eisenscheibe über der Weingeistlampe bis zum unmerklichen oder sichtbaren Anlaufen erhitzt, so verhält sie sich, nach dem Erkalten geprüft, sehr stark negativ gegen eine nicht so behandelte, so daß schon drei Uebertragungen zur vollständigen Ladung des Condensators hinreichten. Eine solche Scheibe verhält sich negativ gegen Kupfer, Silber und Gold.

Passivität anderer Metalle. Andere Metalle, namentlich Wismuth, Kupfer und Zinn, zeigen ähnliche Passivitätserscheinungen wie das Eisen, wenn auch in weniger ausgezeichneter Weise. Andrews (P. A. XLV. 121) machte die Beobachtung, daß ein Stückchen Wismuth, welches in eine große Menge Salpetersäure von 1,4 spec. Gew. getaucht, und darauf in der Flüssigkeit mit einer Platinplatte berührt worden war, fast ganz aufhörte sich zu lösen, und zugleich einen eigenthümlichen Glanz annahm, während dieses Metall von derselben Säure für sich allein heftig angegriffen wurde. 153

Als eine kleine Wismuthstange zum positiven Pole einer kleinen Batterie von zwei Grove'schen Plattenpaaren gemacht und in Salpeter-

ſäure von 1,4 ſpec. Gew. getaucht wurde, ward ihre Löslichkeit ſogleich gehemmt, und bei Aufhebung der Verbindung mit der Batterie zeigte ſie ſich in den paſſiven Zuſtand verſetzt.

Beim paſſiven Zuſtand des Wismuths iſt jedoch ſeine Auflöſung in der Säure nicht gänzlich aufgehoben, wie beim paſſiven Eiſen, ſie iſt nur in eine langſame Auflöſung verwandelt. Als poſitiver Pol einer Säule entwickelt das Wismuth nicht, wie dies beim paſſiven Eiſen der Fall iſt, freien Sauerſtoff (Schönbein in P. A. XLIII.), ſondern es wird gelöſt, und zwar langſam, wenn man eine ſchwache, raſcher, wenn man eine ſtärkere Säule anwendet.

Die ſchützende Schicht wirkt alſo beim Wismuth in ähnlicher Weiſe wie beim Eiſen, nur iſt ſeine ſchützende Kraft geringer.

Auch an Zinn und Kupfer hat Andrews derartige Paſſivitätserſcheinungen beobachtet.

Beetz macht die Bemerkung (P. A. LXVII. 210), daß der Grund, weshalb das Eiſen beſonders zur Paſſivität disponirt iſt, wohl in der großen elektriſchen Differenz zwiſchen dem Eiſen und ſeinem Oxyd liege. Nach dieſer Anſicht muß ein Metall die Paſſivitätserſcheinungen um ſo ſtärker zeigen, je größer die elektromotoriſche Kraft zwiſchen ihm und ſeinem Oxyd iſt.

Vierter Abſchnitt.

Galvaniſche Licht- und Wärmephänomene.

Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Strom. Die Ge- 154
ſetze der Wärmeentwickelung, welche der galvaniſche Strom in Metalldrähten hervorbringt, wurden von Joule (Phil. magazine, Oct. 1841) und von Lenz (P. A. LIX. S. 203 und 407, LXI. S. 18) unterſucht.

Da der Aufſatz von Joule in meiner nähern Umgebung nicht vorhanden iſt, ſo beſchränke ich mich darauf, nur über die Arbeit von Lenz zu berichten, was wohl genügen wird, da die Reſultate des ruſſiſchen Phyſikers mit denen des engliſchen übereinſtimmen.

Die beiden erſten Abtheilungen des Aufſatzes von Lenz im 59ſten Bande von Poggendorff's Annalen enthalten nur Vorbereitendes, worüber wir kurz hinweggehen können.

Zur Meſſung der Stromkraft bediente ſich Lenz einer Nervander'ſchen Tangentenbuſſole, welche auf das ſorgfältigſte gearbeitet und geprüft war. Durch genaue Verſuchsreihen überzeugte ſich Lenz davon, daß bis zu 40° die Stromſtärken der Tangenten des Ablenkungswinkels proportional ſind.

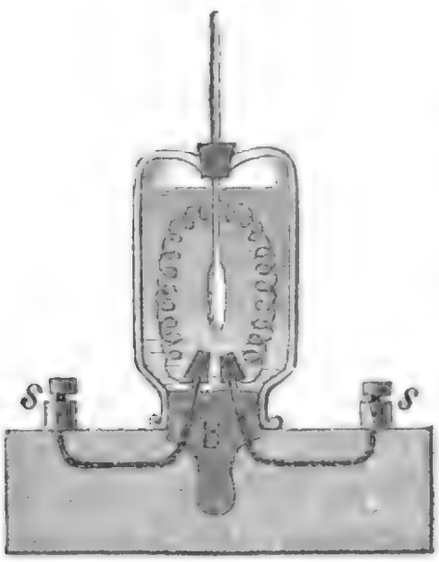
Auch mit der Waſſerzerſetzung hat Lenz ſeine Tangentenbuſſole verglichen. Als Reſultat ſeiner zahlreichen genauen Verſuche ergiebt ſich, daß man die Tangente des beobachteten Ablenkungswinkels mit 39,3 zu multipliciren habe, um die dieſem Strom entſprechende reducirte Menge Knallgas für die Minute in Kubikcentimetern ausgedrückt zu erhalten. Als Einheit des Stromes nimmt Lenz denjenigen an, welcher 1° Ablenkung an ſeine Tangentenbuſſole hervorbringt, und dieſe liefert 0,686 K.C. Knallgas in der Minute. — Da unſere Stromeinheit diejenige iſt, welche 1 K.C. Knallgas in der Minute liefert, ſo iſt klar, daß man die Lenz'ſchen Werthe der Stromſtärke mit 0,686 multipliciren muß, um ſie auf

unsere Stromeinheit zu reduciren. In dem Folgenden werde ich statt der Lenz'schen Werthe für die Stromstärke gleich die reducirten setzen.

Als Einheit des Widerstandes nimmt Lenz den Widerstand einer Windung seines Rheostaten (Agometers) von Neusilber an, welcher nach seinen Angaben gleich ist dem Widerstande eines 6,358 engl. Fuß langen Kupferdrahtes, der einen Durchmesser von 0,0336 engl. Zollen hat. Daraus ergiebt sich, daß diese Widerstandseinheit gleich 2,66 der unsrigen ist; die Lenz'schen Werthe des Widerstandes müssen also mit 2,66 multiplicirt werden, wenn man sie auf unsere Einheit reduciren will.

Um die Wärme zu messen, welche in einem Metalldraht durch den galvanischen Strom entwickelt wird, wandte Lenz den beistehend gezeichneten Apparat, Fig. 138, an.

Fig. 138.



In der Mitte eines Brettes ist der Glasstöpsel *B* befestigt, welcher in den Hals einer Glasflasche eingeschliffen ist, so daß diese vermittelst etwas Fett luft- und wasserdicht aufgesetzt werden konnte. — Eine in der Figur fortgelassene Messingklammer drückt den untern horizontalen Rand des Flaschenhalses an das Brett an, so daß die Flasche selbst bei heftigen Bewegungen des Apparates nicht herabfällt. — Die Flasche hat oben, also eigentlich in ihrem Boden, ein cylindrisch eingeschliffenes Loch, in welches sowohl die Flüssigkeit eingegossen, als auch mittelst eines Korkes ein Thermometer eingesetzt werden kann. Dieses Thermometer war in $\frac{1}{5}$ Grade getheilt.

Durch den Glasstöpsel gehen zwei eingebohrte und festgekittete Drahtstücke von ungefähr 1 Linie Durchmesser hindurch. Ihr oberes in die Flasche hineinragendes und hier etwas conisch zugehendes Ende ist von Platin; diese Platinkegel sind unten an gleich dicke Kupferdrähte angelöthet, welche, in das Brett eingelassen, zu den Schraubklemmen *s* führen, in welche die von den Polen der Kette kommenden Zuleitungsdrähte eingeschraubt werden.

Der Draht, welcher erwärmt werden soll, ist vorläufig um einen cylindrischen 1 bis 2 Linien dicken Stift zu einer Spirale gewunden und mit seinen Enden mittelst zweier Platinklötzchen auf den Platinkegeln festgeklemmt. Er hält sich durch seine Elasticität aufrecht, ohne mit seinen Windungen irgendwo anzurühren.

Die Flüssigkeit, mit welcher die Flasche immer wenigstens so weit ge-

füllt war, daß die Drahtspirale ganz untertauchten, war Weingeist von 85 bis 86 Procent Alkohol, indem Wasser noch ein so guter Leiter ist, daß ein Theil des Stromes nicht durch den Draht, sondern durch das Wasser hindurchgeht, was man sogleich an einer schwachen Gasentwickelung erkennt.

Nachdem die Drahtspirale gehörig befestigt und eine gemessene Quantität Weingeist in die Flasche eingefüllt war, wurde der Apparat zugleich mit dem Multiplicator (Nervander'sche Tangenbussole) und dem Rheostat in den Schließungsbogen einer Daniell'schen Batterie gebracht. — Mittelst des Rheostaten wurde der Strom stets auf einer bestimmten Stärke erhalten; unterdessen wurde beobachtet, welche Zeit erforderlich ist, damit das Thermometer im Weingeist um eine bestimmte Anzahl von Graden steigt. Dabei wurde durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreise die Flüssigkeit in eine rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine gleichmäßige Vertheilung der Temperatur im Inneren der Flüssigkeit erzielt wurde.

Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverlust an die Umgebung veranlaßt werden, wurde der Weingeist unter die Temperatur der Umgebung erkaltet in die Flasche eingefüllt, und der Versuch geschlossen, als seine Temperatur gerade um eben so viele Grade über die Lufttemperatur gestiegen war, als sie anfänglich darunter stand.

Um den Gang der Untersuchung verständlich zu machen, mag hier derselbe für eine Versuchsreihe ausführlich auseinander gesetzt werden.

Die Temperatur der Luft betrug 16° R. Der Weingeist wurde durch Eis bis auf 7° erkaltet in die Flasche eingefüllt und nach der Schließung der Kette mittelst des Rheostaten die Nadel des Multiplicators fortwährend auf 35° erhalten; es wurden nun an einer Secundenuhr die Momente beobachtet, in welchen die Temperatur des Weingeistes 10, 11, 12, 13, 14 und 15 Grad betrug, dann ferner die Momente, in denen sie 16, 17, 18 u. s. w. bis 22 Grad war.

Es ergab sich, daß die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes von

15	bis	17,	also	um	2°	zu	erhöhen . . .	1,05 Minuten
14	»	18	»	»	4	»	»	2,22 »
13	»	19	»	»	6	»	»	3,25 »
12	»	20	»	»	8	»	»	4,30 »
11	»	21	»	»	10	»	»	5,42 »
10	»	22	»	»	12	»	»	6,53 »

betrug, daraus ergiebt sich, daß die Zeit t, welche nöthig war, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen, im Durchschnitt 0,542 Minuten betrug.

Der Leitungswiderstand des Spiraldrahtes wurde dadurch ermittelt, daß man nach Entfernung des Apparates Fig. 138 aus dem Schließungsbogen beobachtete, wie viel Rheostatenwindungen in die Schließung noch eingeführt werden mußten, um den Strom wieder auf dieselbe Größe zu bringen, welche er bei Einschaltung des Erwärmungsapparates gehabt hatte.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate einer großen Anzahl solcher Versuchsreihen zusammengestellt:

Nummer der Versuchsreihe	Drahtsorte	s	t	l
1	Neusilber *a*	6,93	1,349	93,50
2	»	10,53	0,571	93,63
3	»	14,30	0,300	93,94
4	Neusilber *b*	10,53	0,920	58,76
5	»	14,30	0,481	58,64
6	»	18,32	0,288	59,01
7	»	14,30	0,457	60,16
8	Neusilber *c*	18,32	0,384	44,59
9	Platin	14,30	0,555	50,45
10	»	18,32	0,325	51,41
11	Eisen	22,69	0,435	24,92
12	Kupfer	18,32	1,301	13,90
13	»	22,69	0,835	13,90
14	»	27,52	0,575	13,92
15	»	32,98	0,381	14,01
16	»	27,52	0,544	14,31

Es waren drei verschiedene Neusilberdrähte zu den Versuchen angewandt worden; der mit *a* bezeichnete war der dünnste, *b* war etwas dicker als *a*, *c* endlich etwas dicker als *b*.

In dieser Tabelle bezeichnet s die Stromstärke und l den Leitungswiderstand des Drahtes in unseren Einheiten ausgedrückt; t ist die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes um 1^0 zu erhöhen. Wie der jedesmalige Werth von t als Resultat einer Versuchsreihe ermittelt wird, ist bereits oben angegeben worden.

Die Quantität des in die Flasche gegossenen Weingeistes war immer fast ganz genau dieselbe und zwar im Mittel 90 Gramm.

Vergleicht man alle diejenigen Verſuchsreihen miteinander, bei welchen die Stromſtärke dieſelbe war, ſo ergiebt ſich, daß das Product von t und l ſehr nahe conſtant bleibt. Es ergiebt ſich:

Für den Strom 10,53:

2) Neuſilber a . . $tl = 53{,}46$
4) Neuſilber b . . $tl = 54{,}06$.

Für den Strom 14,30:

3) Neuſilber a . . $tl = 28{,}18$
5) Neuſilber b . . $tl = 28{,}11$
7) Neuſilber b . . $tl = 27{,}49$
9) Platin . . . . $tl = 28{,}00$.

Für den Strom 18,32:

6) Neuſilber b . . $tl = 16{,}99$
8) Neuſilber c . . $tl = 17{,}12$
10) Platin . . . . $tl = 16{,}71$
12) Kupfer . . . . $tl = 18{,}08$.

Für den Strom 22,69:

11) Eiſen . . . . $tl = 10{,}84$
13) Kupfer . . . . $tl = 11{,}60$.

Die Gleichheit der Werthe von tl für ein und denſelben Strom iſt ſo augenfällig, daß die Annahme gerechtfertigt iſt, die Erwärmungszeit ſey dem Leitungswiderſtand umgekehrt proportional, oder mit anderen Worten, die Erwärmungen in beſtimmter Zeit ſeyen dem Leitungswiderſtand direct proportional und unabhängig von der ſonſtigen Natur des Metalles.

Um die Abhängigkeit der Wärmeerzeugung von der Stromſtärke zu ermitteln, müſſen wir die Verſuche zuſammenſtellen, welche mit demſelben Drahte bei verſchiedenen Strömen angeſtellt wurden; es zeigt ſich alsdann, daß für denſelben Draht $s^2 t$ nahezu eine conſtante Größe iſt. Es ergiebt ſich nämlich:

Für den Neuſilberdraht a:

1) . . . . $s^2 t = 64{,}8$
2) . . . . $s^2 t = 63{,}3$
3) . . . . $s^2 t = 61{,}3$.

Für den Neuſilberdraht b:

4) . . . . $s^2 t = 102{,}0$
5) . . . . $s^2 t = 98{,}4$
6) . . . . $s^2 t = 96{,}7$
7) . . . . $s^2 t = 93{,}5$.

Für den Platindraht:

9) . . . . $s^2 t = 113{,}5$
10) . . . . $s^2 t = 109{,}1.$

Für den Kupferdraht:

12) . . . . $s^2 t = 436{,}6$
13) . . . . $s^2 t = 429{,}9$
14) . . . . $s^2 t = 435{,}5$
15) . . . . $s^2 t = 414{,}2$
16) . . . . $s^2 t = 412{,}0.$

Durch dieſe Verſuche iſt alſo dargethan:

1) Die Wärmeentwickelung iſt dem Leitungswiderſtande der Drähte proportional.
2) Die Wärmeentwickelung iſt den Quadraten der Stromſtärke proportional.

Wenn demnach t die Zeit iſt, welche erfordert wird, damit durch den Strom s bei dem Leitungswiderſtande l eine gegebene Weingeiſtmaſſe um 1^0 R. erwärmt werde, ſo iſt $s^2 t l$ die Zeit, welche nöthig iſt, damit dieſelbe Weingeiſtmaſſe eine Temperaturerhöhung von 1^0 R. durch die Einheit der Stromſtärke bei der Einheit des Leitungswiderſtandes erfahre. — Da nun für alle in obiger Tabelle die Weingeiſtmaſſe ſehr nahe dieſelbe war, ſo muß auch das Product $s^2 t l$ für alle in der Tabelle verzeichnete Verſuchsreihen ſehr nahe dieſelben ſeyn. Es ergeben ſich für das Product $s^2 t l$ für die verſchiedenen Verſuchsreihen folgende Werthe.

Verſuchsreihe.	$s^2 t l$.
1	6059
2	5927
3	5758
4	5994
5	5770
6	5706
7	5625
8	5747
9	5726
10	5609
11	5975
12	6069
13	5976
14	6062
15	5803
16	5896
Mittel	5856.

Die Masse des Weingeistes, welcher in den obigen Versuchsreihen erwärmt wurde, betrug sammt der zu erwärmenden, in Beziehung auf specifische Wärme auf Weingeist reducirte Glasmasse 118 Gramm.

Die Einheit der Stromstärke, durch einen Draht hindurchgehend, welcher die Einheit des Leitungswiderstandes ausübt, entwickelt also so viel Wärme, daß dadurch die Temperatur von 118 Gramm Weingeist in 5856 Minuten um 1^0 R. erhöht wird.

Die specifische Wärme des zu den besprochenen Versuchen benutzten Weingeistes ist 0,7; eine bestimmte Temperaturerhöhung von 118 Grammen Weingeist erfordert also ebenso viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung von $118 . 0{,}7 = 82{,}6$ Grammen Wasser. — Für 1 Gramm Wasser beträgt also jene Zeit

$$\frac{5856}{82{,}6} = 70{,}9 \text{ Minuten,}$$

oder wenn man statt der Reaumür'schen Grade Celsius'sche einführt

$$70{,}9 . 0{,}8 = 56{,}72 \text{ Minuten *),}$$

d. h. wenn die Einheit der Stromstärke einen Draht durchläuft, dessen Widerstand gleich ist dem eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1^{mm} Durchmesser, so wird dadurch eine solche Wärmemenge erzeugt, daß sie die Temperatur von 1 Gramm Wasser in $56\frac{3}{4}$ Minuten um 1^0 C. erhöht.

Nehmen wir, wie es gewöhnlich geschieht, als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge an, welche die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1^0 erhöht, so ergiebt sich also aus obigen Untersuchungen, daß die Einheit der Stromstärke, die Einheit des Widerstandes durchlaufend, in demselben in einer Stunde 0,001057 und in einer Minute 0,0000176 Wärmeeinheiten erzeugt.

Betrachtungen über die Lenz'schen Resultate. Nachdem Lenz 155
das Verhältniß zwischen Stromstärke und Wärmeentwickelung in einem metallischen Schließungsdrahte entwickelt hat, liegt die Idee nahe, die im Schließungsdrahte erzeugte Wärme mit der Menge des in den Erregungszellen durch Wasserzersetzung gebildeten Knallgases zu vergleichen, ein näheres Eingehen in die Sache zeigt aber bald, daß eine solche Vergleichung zu keinem constanten Resultate führen kann.

Wenn für eine bestimmte Anordnung der Volta'schen Kette und einen bestimmten Schließungsdraht ein bestimmtes Verhältniß zwischen Knallgas

*) In der Lenz'schen Abhandlung scheint bei der entsprechenden Berechnung (P. A. LXI. 42.) durch Verwechselung von Minuten und Secunden ein Irrthum eingeschlichen zu seyn.

und Wärmeentwickelung ſtattfindet, ſo ändert ſich dieſes Verhältniß, ſobald man caeteris paribus nur den weſentlichen Leitungswiderſtand der Kette oder die elektromotoriſche Kraft derſelben ändert, denn durch die eine Aenderung ſowohl, wie durch die andere wird die Stromſtärke verändert; in Folge deſſen ändert ſich die Knallgasbildung in demſelben Verhältniß wie die Stromſtärke, während die Wärmeentwickelung im Verhältniß des Quadrats der Stromſtärke zunimmt; das Verhältniß zwiſchen Knallgas und Wärmeentwickelung muß alſo nothwendig ein anderes werden, man kann demzufolge auch die im Schließungsbogen freiwerdende Wärme durchaus nicht als ein thermiſches Aequivalent des in den Erregungszellen entwickelten Knallgaſes betrachten, es kann mithin auch kein beſtimmtes Verhältniß beſtehen zwiſchen der Wärme, welche durch Verpuffung einer beſtimmten Menge Knallgas erzeugt wird, und derjenigen, welche bei Entwickelung einer gleichen Knallgasmenge in den Erregungszellen einer galvaniſchen Kette in dem Schließungsbogen derſelben frei wird. —

Noch immer iſt es nicht gelungen, eine, wenn auch nur annähernd richtige Vergleichung zwiſchen der elektriſchen Quantität der Elektriſirmaſchine und dem Volta'ſchen Apparate aufzuſtellen. Nachdem Lenz genaue Unterſuchungen über die Wärmeentwickelung durch den galvaniſchen Strom und Rieß zuverläſſige quantitative Beſtimmungen der Wärme gemacht hat, welche in einem Drahte frei wird, den der Entladungsſchlag einer Leidner Flaſche durchläuft, ſcheint auf den erſten Anblick ein Anhaltspunkt für dieſe Vergleichung gegeben, aber auch hier iſt das Reſultat der Betrachtung ein negatives.

Von der ziemlich bedeutenden Erwärmung ausgehend, welche der Entladungsſchlag der Flaſche in Metalldrähten hervorbringt, ſollte man auf eine ziemlich bedeutende Quantität der hier in Wirkung tretenden Elektricität ſchließen; den auf Seite 118 angeführten Verſuchen zufolge beträgt für $\frac{q^2}{s} = 1$ die Erwärmung in dem Platindraht des Luftthermometers 0,3787, oder in runder Zahl 0,4. — Jener Draht hatte einen Durchmeſſer von 0,072‴ und eine Länge von 59,7‴, wonach er ungefähr 60 Milligramm wiegt; eine Erwärmung dieſes Drahtes um $0{,}4^0$ erfordert alſo, wie man leicht berechnen kann, 0,000000768 Wärmeeinheiten.

Sehen wir nun, welche Wärmemenge in demſelben Platindraht durch die galvaniſche Stromeinheit freigeworden wäre. — In der Einheit des Widerſtandes erzeugt die Stromeinheit 0,0000176 Wärmeeinheiten in der Minute; der Leitungswiderſtand jenes Platindrahtes iſt aber, wie ſich leicht berechnen läßt, gleich 6, folglich würden in ihm durch die Stromeinheit $0{,}0000176 \times 6 = 0{,}0001$ Wärmeeinheiten erzeugt worden ſeyn.

Die Erwärmung, welche der Entladungsſchlag der Flaſche für $\frac{q^2}{s} = 1$ in dem Platindraht hervorbringt, nämlich 0,000000768, iſt alſo nahezu $^1/_{100}$ von derjenigen, welche die Einheit der Stromſtärke in dieſem Drahte in einer Minute erzeugt.

Wenn $s = 1$, d. h. wenn die Elektricität auf einer der ſeiner Zeit beſprochenen Flaſchen angehäuft wird, ſo muß q auch gleich 1 ſeyn; für $s = 1$ und $q = 10$, d. h. alſo wenn die Flaſche durch 10 Funken der Maaßflaſche unter den früher entwickelten Verhältniſſen geladen wird, ſo muß alſo auch ihr Entladungsſchlag in einem Metalldraht eine Erwärmung hervorbringen, welche nahezu derjenigen gleich iſt, welche die Einheit der Stromſtärke in 1 Minute in denſelben Draht erzeugt. Um aber die Ladung $q = 10$ auf die Flaſche zu bringen, wird wohl das Drehen der Maſchine kaum eine Minute fortgeſetzt werden müſſen; bei oberflächlicher Betrachtung könnte man alſo, von Wärmeentwickelung ausgehend, zu dem Schluß kommen, daß durch das Drehen der Maſchine in einer Minute nahezu eine Elektricitätsmenge erzeugt wird, welche der chemiſchen Einheit der galvaniſchen Stromſtärke gleich iſt.

Daß aber eine ſolche Vergleichung, oder vielmehr ein ſolcher aus dieſer Vergleichung gezogener Schluß durchaus unzuläſſig iſt, geht ſchon aus dem Umſtande hervor, daß man mittelſt der Elektriſirmaſchine keine merkliche Waſſerzerſetzung erhält, während man mit Leichtigkeit 1 Kubik-Centimeter Knallgas pr. Minute erhalten müßte, wenn jener Schluß auf die elektriſche Quantität der Elektriſirmaſchine zuläſſig wäre.

Eine genauere Betrachtung zeigt aber auch bald, daß der Entladungsſchlag der Flaſche und der galvaniſche Strom unter ganz verſchiedenen nicht vergleichbaren Umſtänden erwärmend auf den Draht wirken.

Dieſelbe Flaſchenladung, in längerer Zeit durch einen Draht entladen, bringt in demſelben eine geringere Erwärmung hervor, und die Erwärmung wird unmerklich, ſobald die Entladungszeit eine meßbare Dauer erhält; wenn man alſo die Elektricitätsmenge, welche durch minutenlanges Drehen der Maſchine auf einer Flaſche angehäuft bei ihrem Entladungsſchlag den Draht merklich erwärmt, wenn man dieſelbe Elektricitätsmenge ſich in continuirlichem Strom während einer Minute durch den Draht entladen läßt, ſo iſt die durch dieſen Strom bewirkte Erwärmung unmerklich. — Ein ſolcher Strom aber iſt allein mit dem galvaniſchen vergleichbar. Um die Maſchinenelektricität mit der galvaniſchen in Beziehung auf Quantität zu vergleichen, müßte man die Erwärmung meſſen können, welche die von dem Conductor der Maſchine durch einen Metalldraht abfließende Elektricität in demſelben hervorbringt. Die momentane Entladung einer angehäuften Elektricitätsmenge kann nicht direct

mit einem continuirlichen Strome verglichen werden. Daß bei der Wärmeentwickelung des Entladungsschlages der Leidner Flasche der Vorgang ein ganz anderer ist, als bei der Erwärmung durch den galvanischen Strom, geht auch schon daraus hervor, daß es bei dem Entladungsschlag gar nicht allein auf die Quantität der Elektricität ankommt, welche durch den Draht entladen wird, sondern auch auf die Größe der Oberfläche, auf welcher sie vorher vertheilt war; bei der Erwärmung durch den Entladungsschlag kommen also noch Factoren in Betracht, von denen bei dem Strom gar nicht die Rede ist. Der galvanische Strom und der Entladungsschlag haben in Beziehung auf die Erwärmung von Metalldrähten nur das gemein, daß die Erwärmung dem Quadrat der elektrischen Quantität und dem Widerstand des durchlaufenen Drahtes proportional ist.

156 **Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom.** Während über die Glüherscheinungen von Metalldrähten durch den Entladungsschlag der Leidner Flasche die schönen Arbeiten von Rieß Licht verbreitet haben, fehlt es an entsprechenden Untersuchungen über das galvanische Glühen, obgleich diese mit weniger Schwierigkeiten verbunden seyn dürften als jene. —

In der schon erwähnten Abhandlung Casselmann's: »über die galvanische Kohlenzinkkette, Marburg 1844«, findet sich auf Seite 43 folgende Bemerkung:

»Ein Platindraht von bedeutender Länge, als Schließungsdraht angewandt, wird nicht glühend, sondern erst dann, wenn er auf eine bestimmte Länge verkürzt ist. Verkürzt man ihn aber darüber hinaus immer mehr und mehr, so bekommt man ihn zuletzt von einer Länge, bei der er nicht mehr glühend wird, woraus hervorgeht, daß das Glühendwerden eines Schließungsdrahtes nur bei einem bestimmten Verhältnisse seines Leitungswiderstandes zu dem Quantum der sich durch ihn hindurchzwängenden Elektricität ein Maximum erreicht.«

Wenn der Strom einer Säule, durch einen Draht gehend, denselben glühend macht, so muß bei Verkürzung des Drahtes die Stromstärke wachsen, und es erscheint deshalb nicht recht glaublich, daß der stärkere Strom das kürzere Drahtstück nicht mehr glühend machen soll. Um über diesen Punkt einigermaßen Licht zu erhalten, stellte ich selbst eine Versuchsreihe an, da, wie bereits bemerkt, bis jetzt noch keine weiteren Untersuchungen über die Gesetze des galvanischen Glühens gemacht worden sind.

Meine Versuche waren folgendermaßen angeordnet. In dem Schließungsbogen der Säule S (Fig. 139 a. f. S.) war bei H ein sogleich näher zu beschreibender Drahthalter, bei B eine Tangentenbussole eingeschal-

tet. Bei Q befand sich ein Quecksilbernäpfchen, vermittelst dessen die Kette leicht geöffnet und geschlossen werden konnte.

Der Drahthalter ist Fig. 140 dargestellt. Auf einem Brette stehen zwei Messingsäulchen; an jedem derselben sind zwei Hülsen verschiebbar.

Fig. 139.

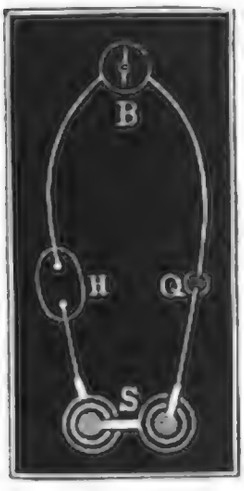
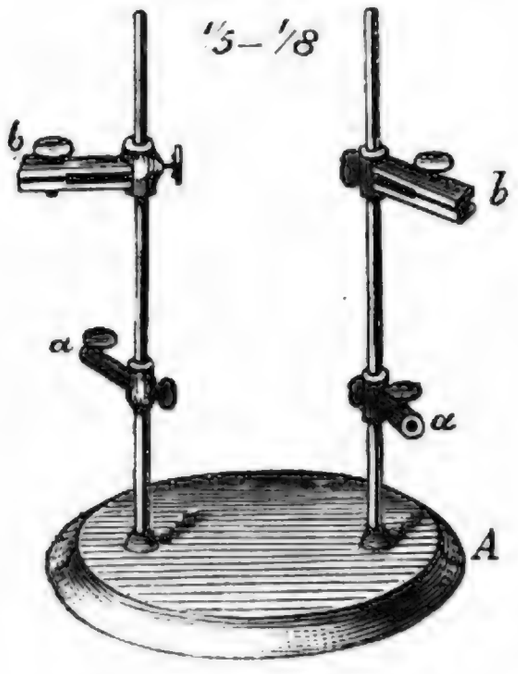


Fig. 140.



In die eine der Hülsen a wird der von dem einen Pole der Säule kommende Verbindungsdraht in die andere derjenigen eingeschraubt, welche nach der Tangentenbussole führt. Die Hülsen b dienten, um zwischen ihnen den Versuchsdraht auszuspannen, und zwar bevor die Kette geschlossen war.

Die Verbindungsdrähte zwischen S, H, B, Q und S waren Kupferdrähte von ungefähr $^3/_4$ Linien Dicke und einer Gesammtlänge von höchstens 5 Metern, so daß ihr Widerstand nicht bedeutend war.

Nachdem der Versuchsdraht bei H gehörig eingeschaltet und alle übrigen Verbindungen gehörig hergestellt waren, wurde bei Q geschlossen, und nachdem die Bussolennadel zur Ruhe gekommen war, gleichzeitig ihre Ablenkung und die Glüherscheinung des Drahtes beobachtet.

Der Gang der Versuche wird aus den folgenden Tabellen, welche die Beobachtungsresultate enthalten, von selbst klar werden.

Die drei ersten Versuchsreihen wurden mit Platindraht von $0{,}45^{mm}$ Durchmesser angestellt.

1ſte Reihe:

Säule von 40 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
1,5 Meter	45°	0
1,3 »	46	ſchwaches Glühen an einigen Stellen.
1,1 »	47	ſchwaches Glühen der ganzen Länge nach.
1,0 »	48	Rothglühen.
0,8 »	50	Hellrothglühen.
0,5 »	56	faſt Weißglühen.

2te Reihe:

Säule von 24 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
0,6 Meter	44°	0
0,5 »	45	ſchwaches Glühen an einzelnen Stellen.
0,4 »	46	desgl. ſtärker.
0,3 »	48	Rothglühen der ganzen Länge nach.
0,1 »	51	Hellrothglühen.

3te Reihe:

Säule von 12 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge.	Ablenkung der Tangentenbuſſole.	Glüherſcheinung.
0,3 Meter	46°	ſchwaches Glühen faſt der ganzen Länge nach.
0,3 »	47	ſchwaches Glühen der ganzen Länge nach.
0,2 »	48	Rothglühen.
0,1 »	50	Hellrothglühen.

Zwei Verſuchsreihen mit einem Eiſendraht von 0,42^{mm} Durchmeſſer geben folgende Reſultate:

4te Reihe:

Säule von 24 Zinkkohlen-Bechern.

Drahtlänge	Ablenkung der Tangentenbussole	Glüherscheinung
1^m	32^0	Stellweises Glühen
0,8	33	Noch nicht der ganzen Länge nach
0,6	34	Rothglühen
0,4	35	Hellrothglühen
0,3	—	abgeschmolzen.

5te Reihe:

Säule von 12 Zinkkohlen-Bechern.

0,5	32	Stellenweise
0,4	33	desgl. stärker
0,2	35	stark Rothglühen
0,1	—	abgeschmolzen.

Bei den Versuchen mit Eisendraht ist zu bemerken, daß bei jedem einzelnen Versuch ein neues Stück Eisendraht eingeschaltet wurde, weil durch das Glühen die Oberfläche oxydirt, also der Draht verändert wird.

Diese Versuche zeigen uns, daß ein und derselbe Draht dieselbe Glüherscheinung bei derselben Stromstärke zeigt, welche Länge er auch haben mag.

Für den Platindraht von $0{,}45^{mm}$ Durchmesser tritt ein stellenweises Glühen bei einer Stromstärke ein, welche der Ablenkung von 45 bis 46^0 entspricht. Mit 40 Elementen bewirkt man diese Wirkung an einem Drahtstück von 1,3 Metern, mit 24 Bechern an einem 0,5 Meter, und mit 12 Bechern an einem 0,4 Meter langen Drahtstück.

Das Rothglühen tritt in allen drei Versuchsreihen bei einer Stromstärke von 48 Graden auf, während bei der ersten die Drahtlänge 1^m, bei der zweiten $0{,}3^m$ und bei der dritten 0,2 Meter beträgt.

Das Hellrothglühen tritt bei einer Stromstärke von 50 bis 51^0 auf.

Ganz ähnlich sind die Resultate, welche die Versuche mit dem Eisendraht geben. Stellenweises Glühen findet bei einer Stromstärke von 32 bis 38^0 statt, starkes Rothglühen bei 35^0.

Diese Versuche zeigen also keine solche Sonderbarkeit, wie sie Cassselmann anführt. Leider hat er keine nähere Angaben gemacht, aus welchen sich etwa der Grund der von ihm beobachteten Abnormität erklären ließe; ich vermuthe aber, daß sie in der starken Wärmeableitung durch Metallmasse der Drahtklemmen ihren Grund hat, welche bei bedeutend kürzeren Drähten einen sehr merklichen Einfluß ausübt.

Cassel mann wandte einen Drahthalter an, welcher dem oben in Fig. 140 abgebildeten ähnlich ist. Beobachtet man einen in demselben befestigten Draht während er glüht genauer, so sieht man, daß er in unmittelbarer Nähe der Einklemmstellen weit schwächer glüht als in der Mitte; verkürzt man nun den Draht so weit, daß der abkühlende Einfluß der Klemmen sich bis in die Mitte des Drahtes erstreckt, so ist es wohl erklärlich, wie durch Verkürzung des Drahtes endlich eine Verminderung der Glüherscheinung eintritt, wie dies auch aus folgender Beobachtung hervorgeht.

Ein Platindraht von 0,21^{mm} Durchmesser wurde in den Schließungsbogen eines einfachen Zinkkohlenbechers gebracht. Bei einer Länge von 3 Centimeter wurde er schwach glühend, während die Tangentenbussole 26° zeigte; als aber derselbe Draht bis auf 1 Centimeter verkürzt wurde, fand bei einer Stromstärke von 34° kein Glühen mehr statt.

Als statt des einen Elementes zwei Bunsen'schen Becher angewandt wurden, erhielt man für die beiden Drahtlängen von 3 und 1 Centimeter vollkommen gleiche Glüherscheinung, obgleich die entsprechende Ablenkung für den ersteren Fall 34, für den letzteren (den kürzeren Draht) 44 Grade betrug.

157 **Beziehungen zwischen Dicke und Stromstärke bei galvanisch glühenden Metalldrähten.** Die obigen Versuche geben über das Verhältniß zwischen Stromstärke und Durchmesser der Drähte, wie es einem bestimmten Grade des Glühens entspricht, noch keine Auskunft, weil nur die Länge, nicht der Durchmesser der Drahtstücke variirt wurde.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate einer Versuchsreihe, welche mit Platindrähten von 1 Decimeter Länge und veränderlichem Durchmesser angestellt wurden.

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s = 70 . tang . v$	$\frac{s}{D}$
0,3^{mm}	schwaches Glühen	34°	47,18	163,9
»	Rothglühen	36	50,82	169,4
»	Hellrothglühen	38	54,67	182,2
»	sehr Hellglühen	42	63,00	210,0
0,39^{mm}	schwaches Glühen	43°	65,24	163,7
»	Rothglühen	46	72,45	185,5
»	Hellglühen	48	77,77	199,5
*0,45^{mm}	schwaches Glühen	47°	75,06	166,6
»	Rothglühen	48	77,77	172,2
»	Hellrothglühen	50,3	84,42	187,6
»	fast Weißglühen	56	103,74	230,3

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s = 70 . tang . v$	$\frac{s}{D}$
0,75mm	Rothglühen	60°	121,24	161,7
«	Hellrothglühen	66	157,22	209,3.

Die mit * bezeichnete Abtheilung ist den früheren, auf Seite 386 angeführten Versuchsreihen entnommen.

Diese Versuchsreihe rechtfertigt die Annahme, daß, um denselben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromstärke dem Durchmesser der Drähte proportional wachsen muß; nach diesem Gesetze muß für denselben Grad des Glühens der Quotient der Drahtdicke in die entsprechende Stromstärke, eine constante Größe seyn. Dieser Quotient findet sich in der letzten Columne der vorigen Tabelle. Es ist demnach:

Für schwaches Glühen:

Beim Durchmesser		Abweichung vom Mittel.
0,3	163,9	— 0,8
0,39	163,7	— 1,0
0,45	166,6	+ 1,9

Mittel 164,7.

Für Rothglühen:

0,3	169,4	— 2,8
0,39	185,5	+ 13,3
0,45	172,2	0
0,75	161,7	— 10,5

Mittel 172,2.

Für helles Rothglühen:

0,3	182,2	— 12,4
0,39	199,5	+ 4,9
0,45	187,6	— 7,0
0,75	209,3	+ 14,7

Mittel 194,6.

Sehr helles Rothglühen, fast Weißglühen:

0,3	210	— 10
0,45	230	+ 10

Mittel 220.

Die Abweichungen vom Mittel sind sowohl der Größe, als auch dem Zeichen nach so unregelmäßig vertheilt, daß man sie wohl ohne Anstand

Beobachtungsfehlern zur Laſt legen kann. Daß dieſe Abweichungen etwas groß ſind, ſie wechſeln bis zu 7 Procent des entſprechenden Quotienten, iſt ſehr begreiflich, wenn man bedenkt, daß die Grade des Glühens nicht gemeſſen, ſondern nur geſchätzt ſind.

Eine, der eben beſprochenen ähnlichen Verſuchsreihe mit Eiſendraht, gab folgende Reſultate:

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s = 70 . tang . v$	$\frac{s}{D}$
0,2	Schwach	19°	24,08	120,4
»	Roth	20	25,41	127,0
0,255	Schwach	24	31,15	122,1
»	Roth	25	32,62	127,9
0,38	Schwach	34	47,18	124,1
»	Roth	38	55,67	146,1
0,75	Schwach	52	89,6	119,4
»	Roth	56	103,74	131,3

Es iſt demnach der Quotient $\frac{s}{D}$:

Für Schwachglühen:

Beim Durchmeſſer		Abweichung vom Mittel
0,2	120,4	— 1,1
0,255	122,1	+ 0,6
0,38	124,1	+ 2,6
0,75	119,4	— 2,1
	Mittel 121,5.	

Für Rothglühen:

0,2	127,0	— 7,8
0,255	127,9	— 6,9
0,38	146,1	+ 11,3
0,75	138,3	+ 3,5
	Mittel 134,8.	

Dieſe Verſuchsreihe beſtätigt alſo die Reſultate, welche aus den mit Platindraht angeſtellten Verſuchen gezogen worden waren.

Mit Kupferdraht wurden folgende Reſultate erhalten:

Durchmeſſer D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromſtärke $s = 70 . tang . v$	$\frac{s}{D}$
0,2	Schwach	48	77,77	388,8
»	Roth	52	89,60	448,0
0,255	Roth	59	116,48	418,3
	Mit Silberdraht:			
0,2	Roth (nach einiger Zeit abgeſchmolzen)	51	86,45	432,2
0,255	Schwach	57	107,80	422,7.

Vergleichung der Geſetze des galvaniſchen Glühens mit den Lenz'ſchen Erwärmungsgeſetzen. Nach den von Lenz ermittelten Geſetzen wächſt die in einem Metalldrahte frei werdende Wärmemenge im Verhältniß des Quadrats der Stromſtärke und im Verhältniß des Leitungswiderſtandes des Drahtes. — Bei gleicher Länge ändert ſich aber oben der Leitungswiderſtand im umgekehrten Verhältniß des Quadrats des Durchmeſſers. 158

Wenn alſo unter ſonſt gleichen Umſtänden die Stromſtärke in demſelben Verhältniſſe wächſt wie die Drahtdicke, ſo muß die entwickelte Wärmequantität unverändert bleiben.

Wenn aber in einem dickeren Drahte eben ſo viel Wärme entwickelt wird als in einem dünneren, ſo ſollte man allerdings erwarten, daß der dickere nicht denſelben Grad des Glühens erreichen könne wie der dünnere, weil in dieſem Falle der dickere Draht mehr Wärme an die Umgebung abgiebt; um gleichen Grad des Glühens in einem $n$fach dickeren Drahte zu erhalten, ſollte man alſo wohl einen mehr als $n$mal ſtärkeren Strom anwenden müſſen, während nach den obigen Verſuchen ein $n$facher Strom dazu genügt.

Beſtimmen wir dies Verhältniß etwas näher. Nach den Oben beſprochenen Unterſuchungen von Lenz iſt die Wärmeentwickelung, welche ein galvaniſcher Strom in Metalldrähten hervorbringt, dem Quadrat der Stromſtärke und dem Leitungswiderſtand des Drahtes proportional; wir könnnen demnach

$$W = s^2 l \ldots\ldots 1)$$

ſetzen, wenn wir mit W die Wärmemenge bezeichnen, die in einem Drahte (innerhalb einer gegebenen Zeit) entwickelt wird, deſſen Widerſtand l iſt, wenn die Stromſtärke s hindurchgeht. Es ſey nun W die Wärmemenge, welche in einer gegebenen Zeit in dem Drahte entwickelt werden muß,

wenn er rothglühend werden ſoll. — Wird nun der Draht durch einen gleichlangen, aber *n*mal dickeren Draht deſſelben Metalles erſetzt, ſo wird die Oberfläche dieſes neuen Drahtes *n*mal ſo groß ſein, die *n*fache Oberfläche giebt caeteris paribus *n*mal ſo viel Wärme an die Umgebung ab, es muß alſo *n*mal ſo viel Wärme, alſo $n\,W$, in dem dickeren Draht entwickelt werden, wenn er die gleiche Glüherſcheinung hervorbringen ſoll.

Der Leitungswiderſtand des *n*mal dicken Drahtes iſt aber $\frac{l}{n^2}$. Bezeichnen wir mit s' die Stromſtärke, welche ihn rothglühend macht, ſo haben wir alſo die Gleichung

$$n\,W = s'^2\,\frac{l}{n^2} \ldots\ldots$$

alſo

$$W = s'^2\,\frac{l}{n^3} \ldots\ldots 2)$$

und durch Combination der Gleichungen 1) und 2)

$$s'^2 = n^3\,s^2$$

oder

$$s' = s\,\sqrt{n^3} \ldots\ldots 3)$$

um alſo einen doppelt und dreimal ſo dicken Draht glühend zu machen, hätte man dieſer Betrachtung zufolge einen 2,83 und einen 5,19mal ſtärkeren Strom nöthig, während meinen Beobachtungen zufolge ein 2mal und ein 3mal ſo ſtarker Strom dazu hinreicht; kurz meiner Beobachtung zufolge müßte zwiſchen s' und s anſtatt der Gleichung 3) die Gleichung

$$s' = ns$$

beſtehen. — Die Abweichungen ſind viel zu bedeutend, als daß ich glaube ſie auf Koſten von Beobachtungsfehlern ſetzen zu dürfen.

Wie dieſer Widerſpruch zu löſen ſey, muß ich vor der Hand unentſchieden laſſen; es wäre wohl denkbar, daß bei dickeren Drähten und gleicher Stromſtärke die äußerſte Oberfläche allerdings eine ſoviel niedrigere Temperatur annehme, daß der Wärmeverluſt nicht größer iſt als bei einem dünnen Drahte, daß aber nach Innen die Temperatur ſo raſch wächſt, daß die äußeren kälteren Schichten das Anſehen des Drahtes nicht zu ändern vermögen. — Geringe Differenzen werden durch die mangelhafte Schätzung des Glühens maskirt, es läßt ſich alſo erwarten, daß ſich Abweichungen von dem Oben entwickelten Geſetz in Beziehung auf die Dicke ergeben werden, wenn man den Durchmeſſer mehr variiren läßt, als es im obigen Verſuchen der Fall war. — Ich beabſichtige dieſen Gegenſtand weiter zu verfolgen.

Die Geſetze des galvaniſchen Glühens und die des Glühens der Metalldrähte durch den Entladungsſchlag der Leidner Flaſche, weichen durch-

aus von einander ab; während die Stromstärke in gleichem, oder doch nahezu in gleichem Verhältnisse wachsen muß wie der Durchmesser, muß beim Entladungsschlag der Flasche die Ladung im Verhältniß der 4ten Potenz des Durchmessers wachsen, wenn der Grad des Glühens derselbe bleiben soll. Dieser Unterschied zeigt schon, daß das galvanische Glühen wesentlich anderer Natur ist, als das durch den Entladungsschlag der Flasche hervorgebrachte.

Bestimmung der Volta'schen Combination, welche man zum Glühendmachen gegebener Metalldrähte anwenden muß. — Die 159
oben erhaltenen Mittelwerthe des Quotienten $\frac{s}{D}$ geben die Größe der Stromstärke an, welche nöthig ist, um einen Draht von 1^{mm} Durchmesser in den entsprechenden Glühzustand zu versetzen.

Es ist also nöthig, um einen Platindraht von 1^{mm} Durchmesser
schwachglühend zu machen, die Stromstärke . . . 165
rothglühend » » » » . . . 172
fast Weißglühend » » » . . . 220.
Es bedarf, um einen Eisendraht von 1^{mm} Durchmesser
schwachglühend zu machen, der Stromstärke . . . 121
rothglühend » » » » . . . 135.

Um einen Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser rothglühend zu machen, bedarf man der Stromstärke 433; für Silber ist dieser Werth 432.

Diese Zahlenwerthe betrachte ich selbst nur als erste Annäherungen.

Bezeichnet s die Stromstärke, welche nöthig ist, um einen Draht von 1^{mm} Durchmesser bis zu einem gewissen Grade glühend zu machen, so ist $s.d$ die Stromstärke, welche nöthig ist, um einen Draht desselben Metalls glühend zu machen, welcher den Durchmesser d hat.

Ist einmal die Stromstärke a bekannt, welche nöthig ist, um ein Drahtstück von gegebenem Durchmesser auf einen gewissen Grad glühend zu machen, und der Leitungswiderstand r, welchen das Drahtstück sammt dem übrigen Schließungsbogen ausübt, so ist es leicht zu berechnen, welche Combination Volta'scher Elemente von bekannter Natur man zu diesem Zwecke anwenden muß.

Es sei e die elektromotorische Kraft, w der wesentliche Widerstand eines der disponiblen Becher. Man hat sie so zu combiniren, daß sie eine Säule von n Elementen bilden, von denen jedes aus m nebeneinander stehenden Bechern gebildet wird. Es sind nun die Werthe von n und m zu bestimmen.

Die Becher müssen so combinirt werden, daß der Widerstand der Säule

dem Widerſtande des Schließungsbogens gleich iſt, der Geſammtwiderſtand muß alſo $2r$ ſeyn. Wir haben alſo

$$\frac{ne}{2r} = a,$$

und

$$n = \frac{2ra}{e}.$$

Der weſentliche Widerſtand unſerer Säule iſt aber

$$\frac{n}{m} w = r,$$

alſo

$$m = \frac{n}{r} w,$$

und wenn man für n ſeinen Werth ſetzt

$$m = \frac{2wa}{e}.$$

Man will z. B. einen Platindraht von 1,5 M. Länge und 0,5^{mm} Durchmeſſer rothglühend machen, wieviel Bunſen'ſche Becher von der elektromotoriſchen Kraft 800, und dem Widerſtand 10 muß man anwenden, und wie muß man ſie combiniren?

Der Leitungswiderſtand eines Kupferdrahtes von 1^{mm} Durchmeſſer und 1,5 Meter Länge iſt 1,5. Der eines gleichen Platindrahtes iſt $5 . 1{,}5 = 7{,}5$. Der Widerſtand eines halb ſo dicken Drahtes iſt aber 4mal ſo groß, alſo 30. — Dies wäre der Leitungswiderſtand des Drahtes bei gewöhnlicher Temperatur; bei der Rothglühhitze iſt er mindeſtens doppelt ſo groß, alſo 60. Nehmen wir an, der Leitungswiderſtand des übrigen Schließungsbogens könne gegen dieſen vernachläſſigt werden, ſo haben wir $r = 60$; ferner iſt für unſern Fall $a = 172 . 0{,}5 = 86$. Es iſt alſo

$$\frac{n . 800}{120} = 86, \text{ alſo } n = 12{,}9,$$

$$\frac{12{,}9}{m} 10 = 60, \text{ alſo } m = 2{,}1,$$

man wird alſo eine Säule von 13 Doppelelementen anwenden müſſen.

Man erſieht aus dieſem Beiſpiel, daß die Anordnung bei den auf Seite 386 angeführten Verſuchen eben nicht die vortheilhafteſte war.

Wollte man einen Kupferdraht von 1^{mm} Durchmeſſer und 0,5 Meter Länge rothglühend machen, ſo wäre der Widerſtand dieſes Drahtes gleich 1, wenn wir annehmen, daß der Widerſtand des Kupferdrahtes bei der Glühhitze doppelt ſo groß iſt als bei gewöhnlicher Temperatur; wenn der übrige Leitungswiderſtand des Schließungsbogens auch gleich 1 iſt, ſo iſt

der Geſammtwiderſtand im Schließungsbogen = 2, a iſt aber für dieſen Fall 433, folglich

$$n = 2{,}16,\ m = 10{,}8.$$

Man hätte alſo eine Säule von 2 Elementen anzuwenden, von denen jedes aus 11 Bechern beſteht.

Man müßte die Leitungswiderſtände der Metalle für die Glühhitze genauer kennen, wenn dieſe Berechnungen einen größeren Grad von Genauigkeit erreichen ſollten.

Im Allgemeinen wird man mehr Becher hinter einander anwenden müſſen, wenn man längere und ſchlecht leitende, mehr Becher neben einander, wenn man dickere und gut leitende Drähte glühend machen will.

Glühen von Metalldrähten in verſchiedenen Gaſen. Grove 160
hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, daß ein in atmoſphäriſcher Luft voltaiſch erglühender Platindraht ſcheinbar erlöſcht, wenn man eine Glocke mit Waſſerſtoff darüber ſtürzt. (Phil. Transact. f. 1847 pt. 1. P. A. LXXI, 196). Da der Leitungswiderſtand eines ſtärker glühenden Drahtes größer iſt als der eines ſchwächer glühenden, ſo war zu erwarten, daß caeteris paribus derſelbe Draht in Waſſerſtoff einen ſtärkeren Strom leiten wird, als in atmoſphäriſcher Luft.

Grove prüfte nun dieſe Conſequenz auf folgende Weiſe; in den Schließungsbogen einer conſtanten Batterie wurde außer einem Platindraht, den man bequem mit einer Atmoſphäre verſchiedener Gaſe umgeben konnte, noch ein Voltameter eingeſchaltet. Je nachdem ſich nun der Platindraht in dem einen oder dem andern Gaſe befand, war die Stärke des Glühens ſehr verſchieden, gleichzeitig änderte ſich aber auch die Stärke der Waſſerzerſetzung im Voltameter in der Weiſe, daß man in gleicher Zeit um ſo mehr Knallgas erhielt, je ſchwächer das Glühen des Drahtes war. Folgendes iſt die Menge von Knallgas, welche das Voltameter in 1 Minute lieferte, wenn der Platindraht in einer Atmoſphäre von nachbenannten Gaſen ſich befand.

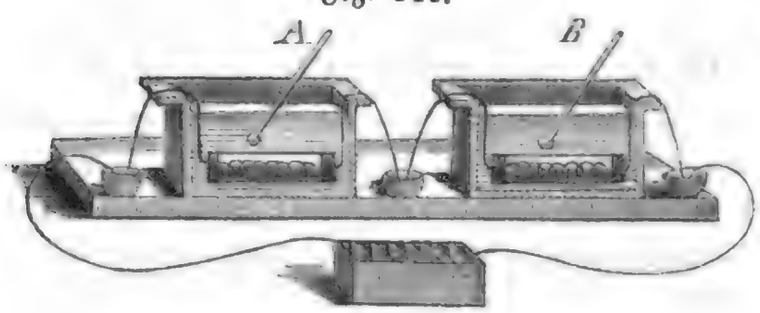
In Waſſerſtoffgas	7,7	Kubikzoll
Oelbildenden Gas	7,0	»
Kohlenoxydgas	6,6	»
Kohlenſäure	6,6	»
Sauerſtoff	6,5	»
Stickgas	6,4	»
Atmoſphäriſcher Luft	6,4	»
desgl. doppelt verdichtet . . .	6,5	»
desgl. verdünnt	6,3	»
Chlorgas	6,1	».

Mit dem Leuchten des Drahtes iſt auch die in demſelben erzeugte Wärme größer, wie folgender Verſuch zeigt: Die Kugel eines Thermometers war in einem beſtimmten Abſtande von einem Drahtgewinde angebracht, welches durch eine Batterie von 4 Zellen ins Glühen verſetzt wurde. Als ſich das Drahtgewinde in atmoſphäriſcher Luft befand, ſtieg das Thermometer in 5 Minuten um 15°, als aber die atmoſphäriſche Luft durch Waſſerſtoffgas erſetzt wurde, betrug das Steigen in gleicher Zeit nur 7,5°.

Poggendorff ſpricht in einer Anmerkung die Meinung aus, daß die Erſcheinung wohl mit der ſchon von Dulong und Petit gemachten Beobachtung zuſammenhängen könne, daß ein erhitzter Körper im Waſſerſtoff ſchneller erkalte als in atmoſphäriſcher Luft. Mir ſcheint dieſe Anſicht unzuläſſig; wenn der Draht in Waſſerſtoffgas die in ihm entwickelte Wärme ſchneller abgiebt, ſo müßte das Thermometer ſtärker ſteigen, wenn ſich das Drahtgewinde in dieſem Gas befindet, vorausgeſetzt, daß gleich viel Wärme durch den Strom im Draht erzeugt wird, gleichgültig in welchem Gas er ſich befindet.

Entſcheidend iſt jedoch dieſer Verſuch noch nicht, unzweideutig aber ſpricht gegen die von Poggendorff angedeutete Erklärung ein Verſuch, den Grove in einem ſpäteren, über denſelben Gegenſtand handelnden Aufſatze beſchreibt. (Phil. Magazine XXXV, 114 P. A. LXXVIII, 366.) Zwei Glasröhren *A* und *B* Fig. 141, von 1,5 Zoll Länge und 0,3 Zoll innerem Durchmeſſer, waren an beiden Enden durch Korke verſchloſſen, in welche Kupferdrähte hineinreichten, deren Enden durch einen ſchraubenförmigen Platindraht von $^1/_{80}$ Zoll Durchmeſſer und 3,7 Zoll Länge verbunden waren. Die Röhre *A* war mit Sauerſtoff, *B* mit Waſſerſtoff gefüllt, und beide ſo zubereitete Röhren waren in zwei getrennte, einander in jeder Beziehung ähnliche Gefäße getaucht, die 3 Unzen Waſſer enthielten. In das Waſſer eines jeden Gefäßes wurde ein Thermometer gebracht, und die Kupferdrähte ſo verbunden, daß ſie hintereinander den Schließungsbogen einer conſtanten Zinkplatinbatterie von 8 Zellen, jede von 8 Quadratzoll wirkende Oberfläche bildeten.

Fig. 141.



Als die Kette geſchloſſen wurde, gerieth der von Sauerſtoffgas umgebene Draht ins Weißglühen, während der in Waſſerſtoffgas befindliche nicht ſichtbar glühte. Die Temperatur des Waſſers, die zu Anfange des Ver-

ſuchs in jedem Gefäße 60° F. betrug, ſtieg innerhalb 5 Minuten in dem die Waſſerſtoffröhre umgebenden Waſſer auf 70° F., in dem die Sauerſtoffröhre umgebenden Waſſer auf 81° F.

Als beide Röhren mit gleichen Gaſen gefüllt waren, ſtieg das Thermometer in beiden Gefäßen gleich hoch.

Dieſer Verſuch beweiſt entſchieden, daß das ſchwächere Glühen des Drahtes in Waſſerſtoff bei vollkommen gleicher Stromſtärke nicht etwa darin zu ſuchen iſt, daß das Waſſerſtoffgas dem Drahte ſeine Wärme ſchneller entzieht, ſonſt müßte ja gerade das Waſſer ſich ſchneller erwärmen, welches die Waſſerſtoffröhren umgiebt. Alles deutet darauf hin, daß in dem Drahte, wenn er von Waſſerſtoffgas umgeben iſt, wirklich eine geringere Wärmeproduction ſtattfindet.

Grove hat bewieſen, daß dieſe Erſcheinung nicht etwa von einer ſchwachen Elektricitätsleitung durch das Waſſerſtoffgas herrühre; ebenſo hat er gezeigt, daß ſie mit den ſonſtigen phyſikaliſchen Eigenſchaften der Gaſe, Dichtigkeit, ſpecifiſche Wärme u. ſ. w. nicht in Verbindung zu bringen iſt.

Was die Erklärung dieſer eigenthümlichen Thatſache betrifft, ſo giebt ſich Grove viel vergebliche Mühe, ihr eine für das Verſtändniß zugängliche Seite abzugewinnen, und unbegreiflicher Weiſe kommt er ſelbſt im Verlaufe ſeiner etwas breiten und dunklen Betrachtungen zu der Vermuthung, als ob die Verſchiedenheit der Gaſe wohl ähnlich wirken könne wie eine Verſchiedenheit in der Oberflächenbeſchaffenheit. Es würde dies im Weſentlichen mit der oben beſprochenen Pogendorff'ſchen Anſicht zuſammenfallen. Als Poggendorff dieſe Anſicht ausſprach, war der Verſuch mit den zwei Glasröhren Fig. 141, welcher am entſchiedenſten gegen eine ſolche Annahme ſpricht, noch nicht bekannt; Grove aber ſpricht ſich für dieſelbe aus, nachdem er kaum ſelbſt den Verſuch angeſtellt und beſchrieben hat, welcher die Unzuläſſigkeit dieſer Erklärungsbaſis darthut, welcher beweiſt, daß ſich die Erſcheinung nicht auf Differenzen in den Wärmeleitungs- und Strahlungsverhältniſſe zurückführen läßt.

Nach meinem Dafürhalten ſteht die Erſcheinung noch ganz iſolirt, und völlig unerklärt da. — Ich halte es nicht für förderlich in ſolchen Fällen, unſere Unwiſſenheit durch gedehnte Betrachtungen zu verſchleiern, in denen der phyſikaliſche Sündenbock unſerer Tage, die Molecularwirkung, eine Hauptrolle ſpielen muß.

Einwirkung glühender Platindrähte auf verſchiedene Gaſe. 161
Es iſt eine bekannte Thatſache, daß mehrere zuſammengeſetzte Gasarten in glühenden Röhren eine Zerſetzung erleiden. Aehnliche Wirkungen hat nun Grove durch die Einwirkung glühender Platindrähte auf ſolche Gaſe hervorgebracht. (Phil. Trans. f. 1847 pt. 1; P. A. LXXI, 194.) Folgende ſind die Apparate, deren er ſich zu dieſem Zwecke bediente.

In das obere Ende einer Eudiometerröhre, Fig. 142, war ein Büge von Platindraht eingeschmolzen, von dessen beiden Enden Kupferdrähte zu den beiden Quecksilbernäpfchen führten, welche die Poldrähte der Batterie aufnahmen. — Das zu untersuchende Gas war durch Wasser gesperrt, und um eine zu starke Erhitzung des Glases zu vermeiden, war die ganze Eudiometerröhre in ein weiteres, mit Wasser gefülltes Gefäß getaucht. Das Wasser wurde zuweilen mit einer zolldicken Oelschicht übergossen.

Fig. 142.

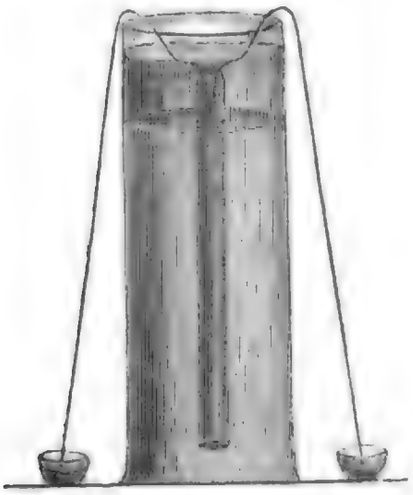
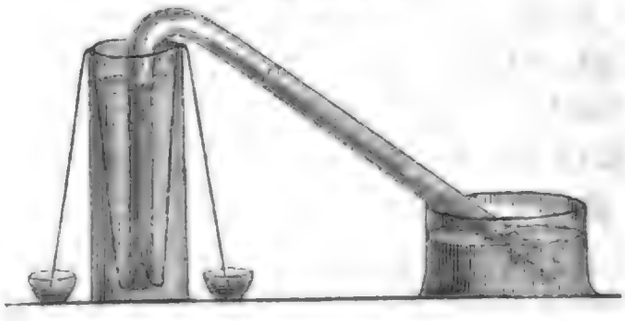


Fig. 143.



Wenn die Gase durch Quecksilber abgesperrt seyn mußten, oder wenn ein längeres Glühen nöthig war, so wurde der Apparat Fig. 143 angewandt. Die Eudiometerröhre ist hier gebogen, das verschlossene Ende derselben, welches den Platindraht enthält, ist nach Unten gekehrt in ein mit Wasser oder Oel gefülltes Gefäß getaucht, das offene Ende aber mündet in ein Gefäß mit Wasser oder Quecksilber, welches die Sperrflüssigkeit bildet. Mit diesen Apparaten wurden nun folgende Resultate erhalten.

Stickstoffoxyd zog sich über destillirtem Wasser im Verhältniß zur Hitze verschieden stark zusammen. (Es versteht sich, daß die Messung des Volumens erst nach vollständiger Erkaltung vorgenommen wurde.) Bei den besten Versuchen betrug die Zusammenziehung $\frac{1}{3}$ des ursprünglichen Volumens. Das rückständige Gas war Stickstoff, im Wasser fand sich Salpetersäure aufgelöst.

Stickstoffoxydul wurde in Stickstoff und Sauerstoff zerlegt; das Volumen vergrößerte sich um 0,35 des anfänglichen. Die volle Vergrößerung um 0,5 konnte nicht erreicht werden.

Kohlensäure erlitt keine wahrnehmbare Veränderung.

Ammoniak vergrößerte sich zum doppelten seines ursprünglichen Volumens; das Gas war nun nicht mehr von Wasser verschluckbar, und bestand aus 3 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Stickstoff.

Oelbildendes Gas zog sich etwas zusammen und setzte Kohle ab.

Der Rückstand war Wasserstoff und ölbildendes Gas; je größer die Hitze, desto mehr Wasserstoff wurde gebildet.

Stickgas blieb unverändert.

Sauerstoff erlitt eine schwache Zusammenziehung, etwa $\frac{1}{50}$ seines Volumens betragend, was wohl einem geringen Gehalt an Wasserstoff zuzuschreiben ist.

Chlor gab über Wasser weiße Dämpfe, und an der Wandung der Röhre, nahe beim Platindraht, sammelte sich ein graugelbes unlösliches Pulver, welches einer späteren Untersuchung zufolge Platinchlorür ist. Der größere Theil des Chlors verbindet sich mit dem Wasserstoff des Wasserdampfes und die gebildete Chlorwasserstoffsäure wird vom Wasser absorbirt. Am Ende des Versuches ist das Gasvolumen fast auf die Hälfte zurückgeführt und der Rückstand ist Sauerstoff.

Aus Brom und Chlorjod entwickelt sich Sauerstoff (wie die Versuche mit diesen Körpern angestellt wurden, ist mir nicht recht klar geworden). Der Rückstand konnte nicht untersucht werden, da er sowohl Platin als Glas angriff.

Wasserstoffgas ergab eine sehr bedeutende Zusammenziehung, die in einigen Fällen bis auf $\frac{1}{10}$ des ursprünglichen Volumens stieg. Die Ursache dieser Zusammenziehung ist eine kleine Menge Sauerstoff, welche dem Wasserstoffgas fast immer noch beigemischt ist. Phosphor in möglichst sorgfältig dargestelltes Wasserstoffgas gebracht, giebt Dämpfe von phosphoriger Säure, leuchtet im Dunkeln und giebt eine schwache Zusammenziehung. Aber dennoch findet hernach bei Anwendung des glühenden Drahtes eine fernere Zusammenziehung statt. Der Phosphor kann also noch nicht allen Sauerstoff aus dem Wasserstoffgas entfernen.

Nach dieser Erfahrung zweifelt Grove an der Richtigkeit der bisher ermittelten Werthe für das Atomgewicht des Wasserstoffs.

Nach diesen Versuchen dürfte es wohl sehr zweckmäßig seyn, bei eudiometrischen Versuchen anstatt des elektrischen Funkens den galvanisch-glühenden Platindraht anzuwenden.

Wasserstoff und Kohlensäure zu gleichen Volumen gemengt, wurden durch den glühenden Draht leicht afficirt. Sie zogen sich zu 0,48 ihres anfänglichen Volumes zusammen. Der Rückstand war Kohlenoxydgas. Es hatte sich demnach 1 Aequivalent Sauerstoff mit 1 Aequivalent Wasserstoff vereinigt.

Kohlenoxydgas zeigte eine merkwürdige Erscheinung. Rein und sorgfältig von Kohlensäure befreit, wurde es über destillirtem Wasser dem glühenden Drahte ausgesetzt, wobei sich das Volumen um $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$, je nach der Intensität des Glühens, vermehrte.

Wenn das Gas trocken und durch Queckſilber abgeſperrt war, ſo trat dieſe Vergrößerung des Volumens nicht ein.

Demnach müßte die Erſcheinung von Waſſerdampf herrühren, und in der That ſtellte ſich heraus, daß die Raumvergrößerung durch die Bildung von Kohlenſäure veranlaßt war. — Durch Schütteln mit Aetzkali oder Kalkwaſſer wurde das Gas genau auf ſein urſprüngliches Volum zurückgeführt; allein es zeigte ſich jetzt gemengt mit einem Volum Waſſerſtoff, welches gleich war dem Volum der verſchluckten Kohlenſäure. — Dies erklärt ſich ſo: Es verbindet ſich ein Volum a des vorhandenen Kohlenoxydgaſes mit einem Volum $\frac{a}{2}$ Sauerſtoffgas, welches durch Zerlegung von Waſſerdampf gebildet wurde, und ſo entſteht durch dieſe Verbindung ein Volumen a von Kohlenſäure. — Wenn aber $\frac{a}{2}$ Volumtheile Sauerſtoffgas aus dem Waſſerdampf ausſcheiden, ſo müſſen ſich gleichzeitig a Volumentheile Waſſerſtoffgas gebildet und das Geſammtvolumen des Gasgemenges um a zugenommen haben. — Das Volumen der gebildeten Kohlenſäure (welche durch Aetzkali oder Kalkwaſſer entfernt werden kann) muß gleich ſeyn dem Volum des gebildeten Waſſerſtoffgaſes, wie es der Verſuch auch zeigt.

Vergleicht man dieſen Verſuch mit dem vorigen, ſo muß allerdings die ſonderbare Umkehrung der Verwandtſchaft unter ſo ähnlichen Umſtänden überraſchen: in dem einen Falle war es Waſſerſtoff, welcher der Kohlenſäure Sauerſtoff entzog, um Waſſer zu bilden und Kohlenoxydgas zurückzulaſſen, während im anderen Falle das Kohlenoxydgas dem Waſſerdampf ſeinen Sauerſtoff entzog, um Kohlenſäure zu bilden und Waſſerſtoff zurückzulaſſen.

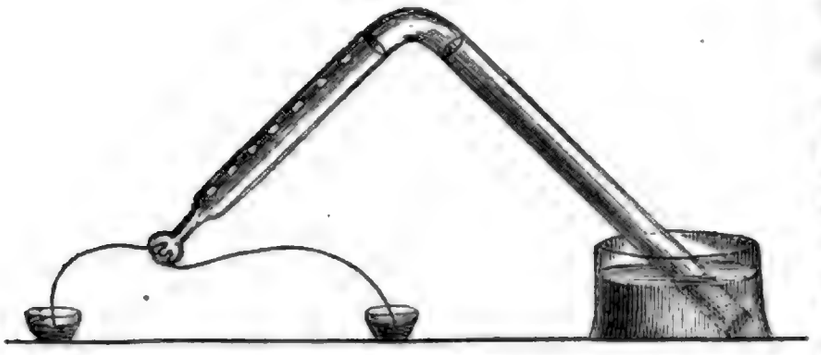
Bis jetzt iſt es noch nicht gelungen, eine nähere Einſicht in dieſe Vorgänge zu erlangen. — Der letzte Verſuch, bei welchem alſo eine Zerlegung von Waſſerdampf ſtattfand, führte Grove zu der Idee, ob es nicht möglich ſey, durch den glühenden Platindraht auch Waſſerdampf zu zerlegen und Knallgas zu bilden, was ihm auch in der That gelang, wie wir in dem folgenden Paragraphen ſehen werden.

162 **Zerlegung des Waſſerdampfes durch den glühenden Platindraht.** Die Zerlegung des Waſſerdampfes in ſeine Beſtandtheile beſpricht Grove in demſelben Aufſatz, welcher über die Einwirkung des glühenden Drahtes auf verſchiedene Gaſe beſpricht. Nach vielen vergeblichen Verſuchen gelang dieſe Zerſetzung durch folgenden Apparat.

Das gebogene an einem Ende offene Glasrohr, Fig. 144 a. folg. S., war an ſeinem andern Ende durch einen engen Hals mit einer Kugel

verbunden, durch welche der Platindraht ſo hindurchgeht, wie die Figur zeigt. — Die ganze Röhre wurde mit luftfreiem Waſſer gefüllt und das offene Ende in ein Gefäß mit Waſſer getaucht. Bei Anwendung einer aus zwei conſtanten Zinkplatinzellen gebildeten Säule wurde zuerſt die Luft in der Kugel ausgedehnt und ausgetrieben, ſo daß nun Waſſer in dieſelbe eintreten konnte, welches bald ins Sieden kam. In einem gewiſſen Zeitpunkt wurde der Draht glühend im Dampf. In dieſem Augenblicke trat eine zitternde Bewegung ein und getrennte nadelknopfgroße Blaſen ſtiegen auf und ſammelten ſich in der Biegung der Röhre. Es war keine ſtetige Gasentwickelung wie bei der Elektrolyſe, ſondern es ſchien eine Reihe raſcher Stöße zu ſeyn; das Waſſer, durch den engen Hals zurückkehrend, bildete eine natürliche Klappe, welche Portionen der Atmoſphäre, welche den Draht umgab, durch intermittirende Wirkung abſchnitt.

Fig. 144.



Das oben geſammelte Gas war Knallgas.

Daß dieſe Knallgasbildung nicht etwa einer Elektrolyſe zugeſchrieben werden könne, hat Grove genügend dargethan; ich hebe unter ſeinen Beweiſen die wichtigſten hervor.

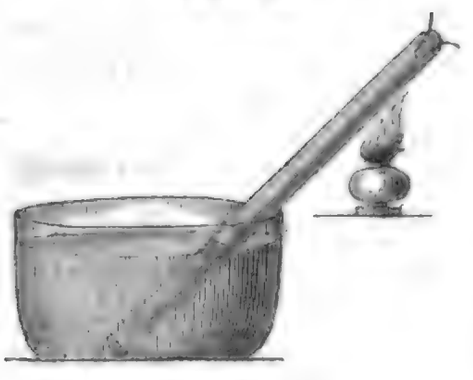
1) In deſtillirtem Waſſer bringt eine Säule von 2 Bechern ſelbſt unter den günſtigſten Bedingungen nur eine kaum merkliche Elektrolyſe hervor.

2) Die Zerſetzung begann erſt, als der Draht glühend wurde.

3) Als der Draht durchſchnitten wurde, fand keine Gasbildung mehr ſtatt.

Grove ging nun zunächſt darauf aus, die Zerſetzung des Waſſerdampfes in einer ſolchen Form zu bewerkſtelligen, daß der glühende Platindraht nur mit Waſſerdampf in Berührung ſeyn konnte. Eine Glasröhre, welche wie die Fig. 145 an ihrem verſchloſſenen Ende einen eingeſchmolzenen Bügel von Platindraht enthält, wurde mit Waſſer gefüllt, welches durch längeres Sieden und Auspumpen möglichſt vollſtändig von Luft befreit worden war, und dann in ein mit gleichem Waſſer gefülltes Gefäß umgekehrt. Eine an das obere verſchloſſene Ende der Röhre

Fig. 145.

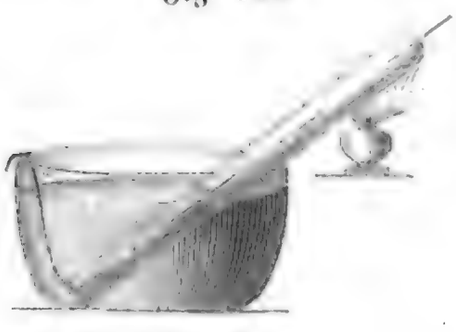


gebrachte Weingeiſtlampe bewirkte, daß ſich daſelbſt Waſſerdämpfe bildeten und der Platindraht nur von Waſſerdampf umgeben war. Der Draht wurde nun ins Glühen gebracht. Nach Unterbrechung des Stromes und Entfernung der Lampe ſtieg das Waſſer allmälig wieder, in der Röhre blieb aber eine Blaſe von dem Volumen eines großen Senfkornes zurück, welches, als es an der Waſſerfläche der Wanne einem brennenden Zündhölzchen genähert wurde, verpuffte. Der Verſuch wurde unter längerem Erglühen des Drahtes wiederholt, allein das Gas ließ ſich nicht über eine ſehr beſchränkte Menge vermehren.

Der Verſuch wurde wie eben wiederholt und die Gasblaſe in eine andere Röhre übergeführt; dann der Draht wiederum im Dampfe zum Glühen gebracht, die ſo gebildete Blaſe abermals entfernt und ſo fort, bis nach etwa 10ſtündiger Arbeit eine zur Analyſe hinreichende Menge Gas vorhanden war. Dies Gas wurde nun in ein Eudiometer gebracht und verpufft; es hinterließ 0,35 ſeines urſprünglichen Volumens und dieſer Rückſtand war Stickgas. Der Verſuch wurde nochmals mit demſelben Erfolge wiederholt; zuweilen enthielt der Rückſtand auch noch etwas Sauerſtoff.

Hier iſt die Elektrolyſe völlig ausgeſchloſſen, der Draht glüht gewiſſermaßen im trockenen Dampfe.

Fig. 146.



Als in dem Apparate, Fig. 146, die Funken einer großen Hydroelektriſirmaſchine zwiſchen Platinſpitzen durch den Waſſerdampf hindurchſchlugen, wurde ebenfalls eine kleine Blaſe von Knallgas gebildet.

Wie bei den vorherigen Verſuchen vergrößerte ſich durch die Arbeit eines ganzen Tages die Blaſe nicht, wurde ſie aber fortgeſchafft, ſo bildete ſich ſogleich eine neue. Das Gas, auf ähnliche Weiſe geſammelt, ließ ſich verpuffen und gab einen Rückſtand von 0,4 ſeines urſprünglichen Volumens, beſtehend aus Stickſtoff mit einer Spur Sauerſtoff.

Durch eine natürlich nur annähernd richtige Schätzung der Dampf- und Gasvolumina ergab ſich, daß das gebildete Knallgas ungefähr $^1/_{2400}$ des Dampfvolums betrug.

Grove vermuthete, daß dieſe Knallgasbildung keineswegs eine ſpecifiſche Wirkung der Elektricität ſey, ſondern daß ſie lediglich durch die Hitze hervorgebracht werde, und in der That gelang es ihm auch, durch Hitze allein ohne Elektricität Waſſerdampf zu zerſetzen.

Mit Uebergehung der weniger gerathenen Verſuche wollen wir uns

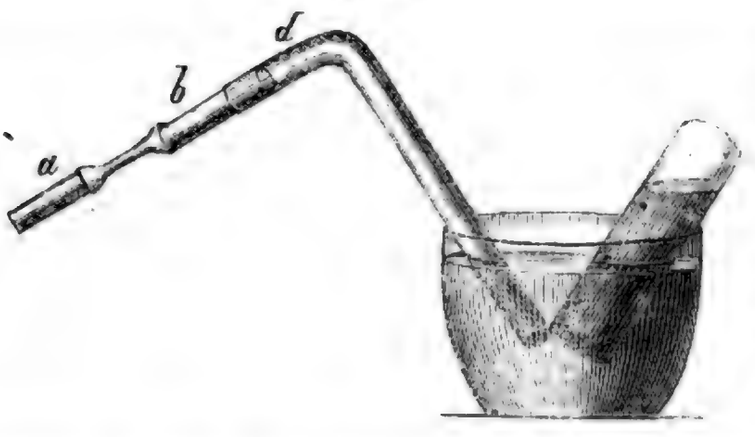
gleich zu denen wenden, welche ganz entscheidende Resultate gaben. Mit einer Batterie von 30 constanten Zinkplatin-Bechern wurde das Ende eines dicken Platindrahtes zu einer pfefferkorngroßen Kugel geschmolzen; dann wurde zwischen dieser und der Kohle, welche den negativen Pol bildete, der Flammenbogen hervorgebracht, bis die Kugel wiederum ihrem Schmelzpunkte nahe war. — Nun wurde die glühende Kugel rasch in luftfreies Wasser getaucht, welches durch eine Weingeistlampe kochend gehalten wurde und in dem eine mit demselben Wasser gefüllte Röhre umgekehrt stand. — Es stiegen vereinzelte Gasblasen in die Röhre. — Derselbe Proceß wurde wiederholt, bis eine genügende Menge Gas gesammelt war, welches verpuffte, einmal 0,4 ein anderesmal nur 0,25 des ursprünglichen Volumens als Rückstand ließ, welcher wie gewöhnlich Stickgas mit einer Spur Sauerstoffgas war.

Die galvanische Batterie diente hier offenbar nur, um die Platinkugel glühend zu machen. Vor dem Knallgasgebläse geschmolzen und glühend gemacht, brachte sie dieselbe Wirkung hervor. Es wurde auf diese Weise mehr als ein Kubikzoll Knallgas dargestellt.

Offenbar umgiebt sich die glühende Kugel, in Wasser eingetaucht, sogleich mit einer Dampfschicht, aus welcher sich dann die kleine Portion Knallgas abscheidet.

Um eine continuirliche Entwickelung der gemengten Gase aus einem bloß der Hitze unterworfenen Wasser hervorzubringen, construirte Grove den Apparat, Fig. 147, *a* und *b* sind zwei silberne Röhren, 4 Zoll lang und 0,3 Zoll im Durchmesser, verbunden durch zwei Platinkappen mit einer Platinröhre, die aus einem der Länge nach durchbohrten Platindraht von 0,125 Zoll Dicke gebildet ist, und im Lichten nur den Durchmesser einer starken Stecknadel hat. *a* ist am Ende verschlossen, *b* durch einen umwickelten Streifen Blase mit der gebogenen Glasröhre *d* verbunden. Das Ganze wird mit luftfreiem Wasser gefüllt, und nachdem die Luft aus *a* durch Hitze ausgetrieben, wurde das Ende der Glasröhre in eine Schale mit siedendem Wasser gesteckt. Nun wird mittelst einer Weingeistlampe erst *b*, dann *a* erwärmt, bis das Wasser kocht; sobald das Sieden eingetreten ist, läßt man die Flamme eines Knallgasgebläses auf den mittleren Theil der Platin-

Fig. 147.



röhre ſpielen, und wenn dieſer den höchſten Grad des Glühens erreicht hat, bildet ſich Gas, welches, gemengt mit Dampf, bald den ganzen Apparat erfüllt und zum offenen Ende entweicht, entweder in die freie Luft oder in das Auffangglas.

Das ſo geſammelte Gas ließ bei der Verpuffung 0,3 ſeines Volumens Rückſtand, welcher aus Stickgas und einer Spur von Sauerſtoff beſtand.

Daß in allen dieſen Fällen Stickgas als Rückſtand blieb, rührt daher, daß es bekanntlich höchſt ſchwierig, ja faſt unmöglich iſt, das Waſſer abſolut von Luft zu befreien.

Dieſe Erſcheinungsreihe iſt höchſt merkwürdig. Während das Knallgas unter dem Einfluß der Hitze ſich zu Waſſerdampf verdichtet, haben wir hier, freilich nur bis zu einer ſehr begränzten Menge, gerade die umgekehrte Wirkung. Die Ermittelung der näheren Bedingungen und Beziehungen dieſer Zerlegung des Waſſerdampfes, welche etwa zu einer Erklärung des Phänomens führen könnte, müſſen wir noch von der Zukunft erwarten.

Wenn Grove ſagt: »daß dieſe Verſuche hoffen laſſen, in nicht ferner Zeit Knallgas zur Beleuchtung u. ſ. w. einfach dadurch zu bereiten, daß man ſiedendes Waſſer durch ſtark erhitzte Platinröhren leitet, oder mittelſt anderer Methoden«, ſo kann ich doch nicht umhin, mein Bedenken auszuſprechen, ob, falls die Darſtellung im großen Maaßſtabe wirklich gelingen ſollte, das ſo erhaltene Knallgas mehr Licht und Wärme geben kann, als das zu ſeiner Darſtellung verbrauchte Brennmaterial.

163 **Anwendung des galvaniſchen Glühens zum Sprengen der Felſen.** Es iſt ſchon längſt bekannt, daß das Schießpulver durch den elektriſchen Funken entzündet werden kann, wie es ſchon von Franklin ausgeführt wurde und noch jetzt einen gewöhnlichen Collegienverſuch bildet. Wenn nun aber auch das Felſenſprengen mittelſt Reibungselektricität möglich iſt, ſo ſtellen ſich doch dieſem Verfahren viel zu große Schwierigkeiten entgegen, als daß man die Verbreitung derſelben in der Praxis erwarten könnte. — Hare brachte zuerſt das Glühen der Metalldrähte durch den galvaniſchen Strom in Anwendung, um Felſen zu ſprengen; ſein Apparat war aber zu umſtändlich und ungeeignet zum alltäglichen Gebrauch für nicht wiſſenſchaftlich gebildete Arbeiter, weshalb ſein Verfahren keine große Verbreitung fand. In Folge der vielen Unglücksfälle, welche beim Sprengen in Bergwerken und Steinbrüchen vorkommen, widmete der Engländer Roberts dem Gegenſtande ſeine Aufmerkſamkeit. Nach vielen Bemühungen gelang es ihm, die Anwendung des galvaniſchen Stromes zum Felſenſprengen ſo einfach zu machen, daß ſein Verfahren allgemeine Anerkennung und Empfehlung verdient. Es iſt zuerſt im Mechanics Magazine, Mai 1842, S. 353 beſchrieben (Dingler's po-

lytechnisches Journal, LXXXV. 275). In diesem Bericht können wir uns ziemlich kurz fassen, weil gar vieles von dem Inhalte jenes Aufsatzes als bekannt vorausgesetzt werden muß.

Um nicht erst für jede Explosion den feinen zwischen den Leitungsdrähten ausgespannten Eisendraht vorrichten zu müssen, erdachte Roberts Patronen, von denen man stets eine Anzahl vorräthig halten kann. Die Anfertigung der Patronen geschieht auf folgende Weise. — Zwei Kupferdrähte, jeder von 10 Fuß Länge, gegen 1 Linie dick und gut mit wohlgewichstem Baumwollen- oder Wollengarn übersponnen, werden dicht neben einander gelegt; an dem einen Ende werden dann die beiden Drähte auf eine Länge von 6 Zoll hin zusammengedreht, wie es Fig. 148 andeutet, bis auf zwei Hörner von etwas über ½ Zoll Länge, die am freien Ende gegen ½ Zoll von einander abstehen. Die freien Enden dieser Hörner werden nun von ihrer Bedeckung befreit und mit der Feile geputzt, und zwischen ihnen der feine Eisendraht ausgespannt. Seine Enden kann man auf die Enden der Hörner aufwickeln und mit Zinn festlöthen.

Fig. 148.

Der eiserne Entzündungsdraht wird natürlich bei jeder Explosion vernichtet; damit dies aber nicht auch mit den kupfernen Leitungsdrähten der Fall sey, werden die beiden Drähte zusammen dick mit Faden, wie es am oberen Ende der Figur angedeutet ist, und dann noch einmal mit feinem Binddraht umwickelt.

Der Körper der Patrone ist eine Zinnröhre von 3 Zoll Länge und ¾ bis 1 Zoll Weite, welche zusammengelöthet und vollkommen wasserdicht ist. (Man könnte wohl auch eine Glasröhre nehmen.) Der feine Eisen- oder Stahldraht befindet sich ungefähr in der Mitte des Cylinders. Er wird dadurch an seiner Stelle erhalten, daß die gedrehten Drähte durch einen Kork hindurchgehen, welcher an dem einen Ende der Röhre eingesteckt ist. Das beste Verfahren, die zusammengedrehten Drähte hier gehörig festzuhalten, besteht darin, den Korkstopfen seiner Länge nach zu spalten, und ihn, nachdem die Drähte zwischen die beiden Stücke gelegt worden, in die Röhre zu zwängen. Da die zusammengedrehten Drähte doch etwas dick sind, so wird es doch gut seyn, vorher eine kleine Rinne in die Korkstücke einzuschneiden. — Ist der Kork so eingesteckt, daß die Hörner die Wand nirgends berühren, so wird er mit gutem Kitt überzogen. Robert's empfiehlt dazu einen Kitt, bestehend aus 1 Theil Bienenwachs und 2 Theilen Harz.

Nun wird von dem offenen Ende her die Röhre mit trockenem Jagd-

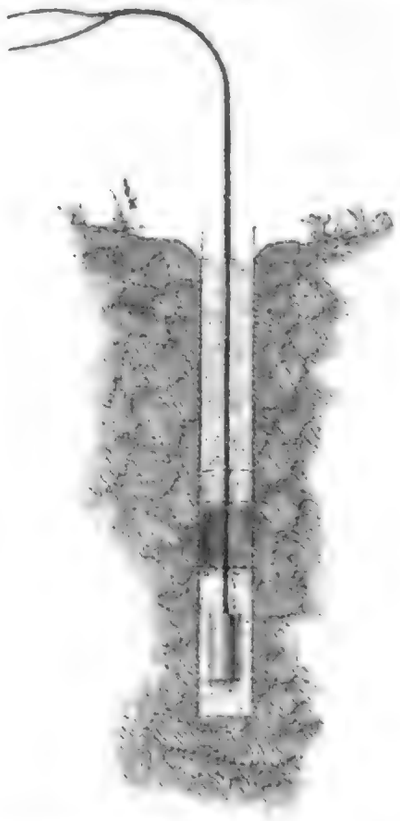
pulver gefüllt, und dann auch hier ein Kork eingeſetzt, der wie der andere wohl verpicht werden muß.

Fig. 149 zeigt die ganze Patrone.

Wie die Patrone in das Bohrloch eingeſetzt wird, zeigt Fig. 150. Nachdem es gehörig von Staub und Feuchtigkeit gereinigt worden iſt, ſchüttet

Fig. 149.

Fig. 150.



man die Hälfte der beabſichtigten Pulverladung in das Loch, legt die Patrone darauf und ſchüttet den übrigen Theil der Ladung darüber. Die Patrone befindet ſich alſo in der Mitte der Ladung, und ihre langen zuſammengewickelten Drähte ſtehen noch mehrere Fuß über den Felſen hervor. Das Pulver wird nicht eingeſtampft.

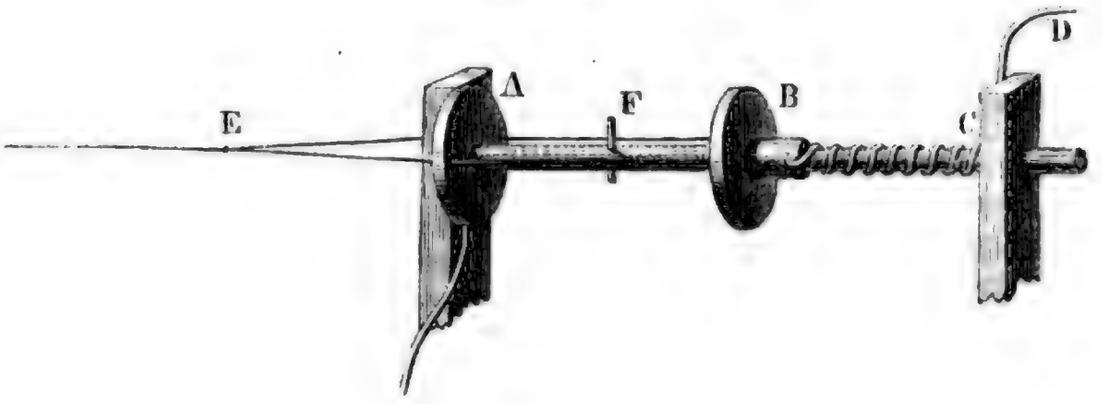
Nun wird ein Pfropf von Stroh oder Werg ſanft in das Loch hinuntergeſchoben, ſo daß ein lufterfüllter Raum, deſſen Größe natürlich von den Umſtänden abhängt, zwiſchen ihm und dem Pulver bleibt. Auf den Pfropf wird trockner Sand geſchüttet, bis das Loch voll iſt.

Die beiden gabelförmig auseinander ſtehenden Enden der Patronendrähte müſſen nun durch Zuleitungsdrähte mit der 60 bis 90 Fuß entfernten Batterie verbunden werden. Dieſe Zuleitungsdrähte ſind gleichfalls überſponnene Kupferdrähte von ungefähr 1 Linie Durchmeſſer; ſie ſind gleichfalls nebeneinandergelegt und dann gemeinſchaftlich mit Faden umwickelt; nur ſtehen ihre freien Enden auf beiden Seiten gabelförmig auseinander, um auf der einen Seite mit den Patronendrähten, auf der andern mit den Polen der Kette verbunden zu werden.

Die Person, welche die Schließung der Batterie, also die Entzündung der Mine zu besorgen hat, muß unter Umständen noch weiter von dem Bohrloche entfernt seyn, als die Batterie, man muß also eine Vorrichtung haben, um die Schließung der Kette aus der Ferne mittelst einer Schnur besorgen zu können.

Roberts hat zu diesem Zweck folgende Vorrichtung ersonnen. An zwei gegenüberstehenden Enden des Kastens, welcher die Batterie enthält, stehen hölzerne Pfeiler in die Höhe, welche oben durch einen cylindrischen Holzstab von 1 Zoll Durchmesser verbunden sind. An dem einen Ende desselben ist die Zinnscheibe *A*, Fig. 151, von 3 bis 4 Zoll Durchmesser

Fig. 151.



unverrückbar befestigt und an ihr ein Draht angelöthet, der zu dem einen, etwa dem positiven Pole der Batterie führt. Eine zweite Zinnscheibe *B*, welche der sicheren Führung wegen auf der von *A* abgewandten Seite mit einer Zinnröhre versehen ist, die sich mit der Scheibe auf dem Stabe leicht hin- und herschieben läßt, wird durch einen federnden, spiralförmig um den Holzstab herumgehenden, bei *C* befestigten Metalldraht von *A* entfernt gehalten. Das freie Ende *D* dieses Spiraldrahtes wird an dem einen Zuleitungsdraht befestigt, während der andere mit dem negativen Pole der Säule verbunden ist. So ist also die Scheibe *B* durch eine lange Drahtleitung, in welcher auch der feine Eisendraht sich befindet, mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung, *B* ist gewissermaßen der negative Pol der Kette, *A* aber der positive. Der Strom circulirt und macht den Eisendraht glühend, sobald *A* und *B* in Berührung kommen.

Um aus der Ferne die Platte *B* gegen *A* hinziehen zu können, sind in *B* zwei Löcher angebracht, durch welche eine Schnur hindurchgeht, deren Enden durch zwei entsprechende Löcher der Scheibe *A* gezogen, bei *E* miteinander verbunden sind. Von *E* geht dann eine längere Schnur zu dem Orte, an welchem die Person steht, die das Schließen der Kette zu besorgen hat.

Damit nicht etwa durch ein zu frühzeitiges zufälliges Ziehen an der

Schnur die Kette geschlossen werden kann, ist ein Holzstäbchen *F* zwischen *A* und *B* eingesteckt. Erst wenn dieses ausgezogen ist, kann durch Ziehen an der Schnur die Explosion der Mine bewirkt werden.

Außer der Verminderung der Gefahr hat diese Methode der Felsensprengung noch andere bedeutende Vorzüge; sie erlaubt ohne große Schwierigkeiten eine Entzündung des Pulvers unter Wasser vorzunehmen. Zu diesem Zweck befindet sich die ganze, zur Sprengung anzuwendende Pulvermasse, in wasserdicht verschlossenen Blechbüchsen, die nur an den gehörigen Ort zu bringen sind, um ihre Wirkung zu thun.

Ebenso bringt die Anwendung des galvanischen Glühens sehr große Vortheile, wenn große Massen wegzusprengen sind. Nach der früheren Methode mußte man in solchen Fällen eine große Mine anlegen, während eine Reihe kleinerer, zweckmäßig vertheilter Bohrlöcher eine ungleich größere Wirkung hervorbringen würden, wenn man ihre Ladung genau gleichzeitig anzünden könnte. Mit Hülfe des galvanischen Stromes ist dies aber möglich. Man braucht die Verbindungsdrähte nur so zu legen, daß alle Bohrlöcher zugleich in den Schließungsbogen der Batterie kommen; man hat in England auf diese Weise großartige Effecte erreicht.

Wie stark man die Batterie in jedem Falle wählen müsse, kann man nach früheren Mittheilungen leicht ermessen. — Aus §. 159 kann man entnehmen, wie groß die Stromstärke sein muß, um den dünnen Eisendraht weißglühend zu machen (natürlich muß man seine Dicke ermittelt haben), und wenn man den Widerstand der Drahtleitung berechnet hat, kann man leicht bestimmen, wie viel Volta'sche Becher oder Plattenpaare der einen oder der andern Einrichtung man anwenden muß, um diese Stromstärke zu erhalten.

164 **Der Volta'sche Lichtbogen.** Durch die Construction der constanten Kette, ist die Erzeugung des von Davy zuerst beobachteten Lichtbogens zwischen Kohlenspitzen ungemein erleichtert, und dieses interessante Phänomen auch mannichfach untersucht worden, obgleich hierin noch sehr viel zu thun übrig bleibt.

De la Rive hat sich mehrfach mit dem galvanischen Flammenbogen beschäftigt; einen größeren Aufsatz über diesen Gegenstand hat er in der Phil. Trans. f. 1847 pt. publicirt (P. A. LXXVI, 170), aus dem zunächst Folgendes hervorzuheben ist:

Der galvanische Lichtbogen läßt sich nicht nur zwischen Kohlenspitzen, sondern auch zwischen verschiedenen Metallspitzen erzeugen. Bei leicht schmelzbaren oder bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eisen, ist er größer als beim Platin oder Silber. Die Größe des Lichtbogens steht in Beziehung zur größeren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher

die Substanz der Elektroden sich zu zertheilen fähig ist; denn da der Lichtbogen durch Ueberführung fein vertheilter Substanz von einer Elektrode zur andern erzeugt und erhalten wird, so muß seine Bildung nothwendig durch eine geringere Cohäsion der Elektroden begünstigt werden; deshalb kann man auch zwischen Kohlenspitzen, unter sonst gleichen Umständen, den größten Lichtbogen hervorbringen.

Die Fortführung der Substanz geschieht stets von dem positiven zu dem negativen Pole. In der Luft und bei metallischen Elektroden besteht der Absatz auf dem negativen Pol immer aus dem oxydirten Staub des Metalls der positiven Elektrode.

Giebt man dem einen Pol die Form einer Platte, welcher der andere Pol in Gestalt einer Spitze gegenübersteht, so bildet die Ablagerung der fortgeführten Substanz auf der Platte, wenn sie negativ und die Spitze positiv ist, einen sehr regelmäßigen Ring, dessen Mittelpunkt die Projection der Spitze auf die Platte ist.

Wenn der Lichtbogen zwischen einer Quecksilberfläche und einer ihr gegenüberstehenden Metallspitze erzeugt wird, so steigt es in Form eines Kegels in die Höhe, wenn es positiv, es bildet sich aber eine Vertiefung, wenn es negativ ist.

Es ist schwierig hier, wegen der großen Menge des sich hierbei bildenden Quecksilberdampfes, Details zu beobachten.

De la Rive stellte Versuche mit Platten und Spitzen von Platin, Eisen, Silber und Kupfer an, ich kann mich aber über die Einzelnheiten dieser Versuche nicht weiter auslassen, weil mir Manches unklar blieb; namentlich wollte es mir nicht gelingen, in den einzelnen Versuchen überall die Nachweisung und Begründung der so eben mitgetheilten allgemeinen Sätze herauszufinden. Eine Wiederholung dieser Versuche, und eine genaue, wo möglich durch Abbildungen erläuterte Beschreibung erscheint deshalb sehr wünschenswerth.

Leuchtkraft des galvanischen Flammenbogens. Ueber die Licht- 165
stärke des galvanischen Flammenbogens hat Casselmann Versuche angestellt, welche in der schon oben, S. 384, angeführten Abhandlung beschrieben sind, aus welcher sie auch in Poggendorff's Annalen übergingen (P. A. LXIII, 576). Das Photometer, welches er zu seinen Versuchen anwandte, war nach denselben Principien construirt wie dasjenige, welches ich in der dritten Auflage meines Lehrbuchs der Physik beschrieben habe (2ter Band, Seite 674). Die Kohlenstücke, zwischen denen der Lichtbogen erzeugt wurde, waren aus derselben Masse gebildet, welche zur Herstellung der Kohlencylinder der Bunsen'schen Kette dient; jedoch waren sie noch auf verschiedene Weise präparirt worden, indem sie mit

Lösungen von salpetersaurem Strontian, Borsäure u. s. w. getränkt und nochmals stark geglüht wurden. Die so präparirten Kohlenstücke geben einen, je nach der angewandten Substanz verschieden gefärbten, sehr ruhigen Lichtbogen der (bei einer Säule von 44 Bunsen'schen Bechern) erst erlischt, wenn die Kohlenspitzen 7 bis 8 Millimeter von einander entfernt werden, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle schon bei 5mm Entfernung erlischt.

In den Strom war gleichzeitig eine Tangentenbussole eingeschaltet, so daß die jeder gemessenen Lichtstärke entsprechende Stromstärke gemessen werden konnte.

Die hellsten Punkte des ganzen Lichtphänomens sind bekanntlich diejenigen Punkte der beiden Kohlenstücke, auf welche der eigentliche Lichtbogen aufsetzt. Die folgende Tabelle giebt die jedem Falle entsprechende Lichtstärke der beiden hellen Punkte, sammt dem Bogen verglichen mit der Lichtstärke einer Stearinkerze, und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann bei möglichst großer Entfernung der Kohlenspitzen. — Die Werthe der Stromstärke sind bereits auf chemische Einheit reducirt.

	Entfernung der Kohlenspitzen	Stromstärke	Lichtstärke
Rohe Kohle	0,5mm	95	932
	4,5	68	139
Kohle mit salpetersaurem Strontian	0,5	120	353
	6,75	88	274
Kohle mit Aetzkali	2,5	101	150
	8	82	75
Kohle mit Zinkchlorid	1,0	80	624
	5,0	67	159
Kohle mit Borax in Schwefelsäure	1,5	72	1171
	5,0	64	165

Diese Tabelle zeigt uns, daß mit der Entfernung der Spitzen Lichtstärke und Stromstärke abnimmt. Durch die meisten der Substanzen, mit welchen die Kohle behandelt wurde, ist der Lichtbogen zwar ruhiger, und eine größere Entfernung der Kohlenspitzen möglich, aber keine größere Lichtstärke erzielt worden; dies ist nur der Fall bei der Kohle, die in eine Mischung von Borax mit Schwefelsäure getaucht war.

Uebrigens sind die Resultate, welche in dieser Tabelle aufgeführt wurden, nur annähernd genau, indem es bei der Veränderlichkeit der Lage, welche die blendenden Ausgangspunkte des Lichtbogens zeigen, es wohl vorgekommen sein mag, daß nicht die ganze Lichtstärke dem Photometer

zugewandt war. Bei einer folgenden Verſuchsreihe, welche die nächſte Tabelle im Auszug enthält, wurde dieſer Fehler dadurch vermieden, daß mittelſt eines Magnetſtabes der Lichtbogen nach dem Photometer hin gerichtet wurde. In dieſer Verſuchsreihe, bei welcher nur 34 Bunſen'ſche Becher angewandt wurden, blieb die Entfernung der Kohlenſpitzen ungeändert, und die Lichtſtärke wurde für verſchiedene Stadien der Stromſtärke gemeſſen.

	Stromſtärke	Lichtſtärke
Kohle mit Borſäure	41	198
	52	254
	57	298
Kohle mit ſchwefelſaurem Natron	38	178
	41	203
	52	346
	60	460

Die mit ſchwefelſaurem Natron getränkte Kohle war nach dem Eintauchen nicht mehr geglüht worden.

Dieſen Verſuchen zufolge wächſt die Lichtſtärke in einem etwas raſcheren Verhältniß als die Stromſtärke.

Leider haben wir gar keine Meſſungen über die Lichtſtärke des galvaniſchen Flammenbogens, wenn man verſchiedene Metalle anſtatt der Kohlenſpitzen anwendet.

Nach einer andern Seite haben Fizeau und Foucault vergleichende Verſuche über die Lichtſtärke des galvaniſchen Lichtbogens engeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XI, p. 370; P. A. LXIII, 463). Sie vergleichen nicht die Leuchtkraft, welche verſchiedene Lichtquellen haben, ſondern die Intenſität ihrer chemiſchen Wirkungen. In dieſer Beziehung vergleichen ſie den galvaniſchen Lichtbogen mit dem Sonnenlicht und dem Lichte des in Knallgas glühenden Kalkes. Der Verſuch wurde in folgender Weiſe ausgeführt: In einer camera obscura wurde eine jodirte Silberplatte an die Stelle geſetzt, an welcher das Bild der Sonne, des Kohlen- oder des Kalklichtes entſteht. Man ließ das Licht nur kurze Zeit wirken, verſchloß die camera obscura mit einem Schirm, und drehte ſie nun ein wenig ſeitwärts, ſo daß das Bild des leuchtenden Objectes auf der präparirten Silberplatte neben das erſte fiel; man ließ nun das Licht etwas länger einwirken, auf eine dritte Stelle noch länger u. ſ. w. Die Platte wurde nun in den Queckſilberkaſten gebracht und ermittelt, das wievielte Bild durch die Queckſilberdämpfe ſichtbar gemacht wurde

Man erfährt auf diese Weise, wieviel Zeit nöthig ist, damit das Licht die zur Condensation der Quecksilberdämpfe erforderliche Veränderung der Jodsilberschicht hervorbringt.

Wären nun alle übrigen Umstände gleich, so würde die zur Hervorbringung des Daguerre'schen Bildes nothwendige Zeit der chemischen Intensität der Lichtquellen nahezu umgekehrt proportional seyn.

Fizeau und Foucault wandten aber zu ihren Versuchen mit Kohlen- und Kalklicht Linsen von kürzerer Brennweite an, als zur Erzeugung von Sonnenbildern; ebenso wurde die Oeffnung der Linsen durch vorgesetzte Blendungen variirt. Dieser Umstände muß also Rechnung getragen werden.

Ist das Bild $n$mal so weit von der Linse entfernt, so wird caeteres paribus das Bild in seinen linearen Dimensionen $n$mal größer seyn, es wird also eine n^2mal so große Fläche bedecken, die Lichtstärke an jedem einzelnen Punkte des Bildes wird also n^2mal geringer. Die chemische Kraft der Lichtquelle ist also dem Quadrat der Entfernung des Bildes von der Linse proportional zu setzen.

Sie ist aber auch, wie man leicht übersieht, umgekehrt der Fläche der Linsenöffnung, also dem Quadrate des Halbmessers der Linsenöffnung proportional zu setzen, wir haben also

$$J = \frac{d^2}{t \,.\, r^2},$$

wenn man mit J die (chemische) Lichtstärke der Lichtquelle, mit d die Entfernung des Bildes von der Linse, mit r den Halbmesser der Linsenöffnung, und mit t die zur Hervorbringung eines Daguerreschen Bildes erforderliche Zeit bezeichnet.

Bezeichnet man mit α den Winkel, unter welchem der Radius der Linsenöffnung von der Bildstelle aus gesehen erscheint, so ist

$$\frac{r}{d} = tang.\ \alpha,$$

also

$$J = \frac{1}{t \,.\, tang.\ \alpha}.$$

Nach dieser, oder vielmehr nach einer ähnlichen, etwas anders gestalteten, ihr aber äquivalenten Formel berechnen Fizeau und Foucault ihre Beobachtungsresultate, und erhalten folgende Verhältnißzahlen für die Intensität der Lichtquellen:

Sonnenlicht, im August und September bei reinem Himmel in den Mittagsstunden	1000
Kohlenlicht, durch 46 Bunsen'sche Zinkkohlenbecher erzeugt	235
Kalklicht	6,8.

Das Kalklicht erscheint hier überraschend gering, aber auch nach dem gewöhnlichen photometrischen Verfahren fanden Fizeau und Foucault ein ähnliches Verhältniß zwischen Kalk- und Kohlenlicht. Es sind nun eben keine andere vergleichende Messungen bekannt, welche ich mit diesen zusammenstellen könnte; um so mehr aber ist eine umsichtige experimentelle Prüfung derselben zu wünschen.

In Beziehung auf die Veränderung der Lichtstärke des Kohlenlichtes mit der Anzahl und Größe der galvanischen Elemente finden sich in jenem Aufsatze folgende Angaben. Während eine Säule von 46 Bunsen'schen Elementen die Lichtstärke 235 gab, stieg diese nun auf 238, als die Zahl der Becher auf 80 vermehrt wurde; eine Säule von 46 3fachen Bechern, die schon eine Stunde lang thätig gewesen waren, gab dagegen die Lichtstärke 385.

In Folge der raschen Veränderung der Flüssigkeit, indem sich nämlich die verdünnte Schwefelsäure mehr und mehr in einer Lösung von Zinkvitriol verwandelt, nimmt die Kraft der Säule und folglich auch die Intensität des Lichtbogens, den sie hervorzubringen vermag, rasch ab. Während 80 Becher anfangs die Lichtstärke 238 gaben, war dieselbe nach 3 Stunden nur noch 159.

Leider haben französische Physiker keine den Lichtstärken correspondirenden Messungen der Stromstärke gemacht, in deren Verbindung die obigen Verhältnißzahlen einen ungleich größeren Werth erhielten.

Wärmeentwickelung durch den galvanischen Flammenbogen. 166

Die Wärmeentwickelung an den Polen, zwischen denen der Lichtbogen übergeht, ist viel zu bedeutend, als daß man sie nur dem Durchgang des elektrischen Stromes durch diese Leiter zuschreiben könnte. Den auf Seite 390 angeführten Versuchen zufolge muß ein Strom, welcher einen Platindraht von 0,75^{mm} Dicke durchlaufend, denselben weißglühend machen soll, wenigstens die Stromstärke 160 haben. Um einen Platindraht von 3 Millimeter Durchmesser nur weißglühend zu machen, ist demnach wenigstens die enorme Stromstärke 640 erforderlich; und doch kann man mit dem Strom einer Säule von 44 Bunsen'schen Bechern bei einer Stromstärke von 80 bis 100 einen Flammenbogen erzeugen, durch welchen man an einen mehr als 3 Millimeter dicken Platindraht leicht eine Kugel anzuschmelzen vermag, wenn man ihn an die Stelle des einen Pols setzt, während der andere Pol fortwährend durch Kohle gebildet wird.

Die Verbrennung der Kohle findet hier in zu geringem Maaßstabe statt, als daß man ihr einen wesentlichen Antheil an der starken Wärmeentwickelung zuschreiben könnte, und zwar um so mehr, als die Schmel-

zung des Platindrahtes durch den galvaniſchen Flammenbogen im luftleeren Raum ebenſo gut gelingt wie in freier Luft.

Außer der Wärme, welche der elektriſche Strom in Folge ſeines einfachen Durchganges durch die Leiter in denſelben hervorbringt, muß er alſo bei der Bildung des Lichtbogens auch noch in einer andern Weiſe Wärme erzeugend in den Polen deſſelben wirken, über die wir jedoch bis jetzt nichts Näheres wiſſen.

Die Wärmeentwickelung iſt nicht gleich für die beiden Pole des Flammenbogens, ſie iſt ſtärker im poſitiven als im negativen. De la Rive führt für dieſe ſchon früher beobachtete Thatſache in der bereits auf Seite 408 angeführten Abhandlung noch folgende Beobachtungen an.

Wenn bei der Bildung des Lichtbogens eine poſitive Metallſpitze einer negativen Metallplatte gegenüberſtand, ſo wurde die Spitze durch und durch glühend, während ſie im umgekehrten Fall nur an ihren Enden erhitzt wurde.

Stehen ſich zwei Spitzen von gleichem Metall gegenüber, ſo wird die poſitive viel ſtärker und auf größere Entfernung hin glühend. Beſtehen die beiden Spitzen aus verſchiedenen Metallen, ſo glüht natürlich diejenige am ſtärkſten, welche aus dem am ſchlechteſten leitenden Metall gebildet iſt.

Hierher gehört noch eine Beobachtung von Walker, welche er mit einer Daniell'ſchen Batterie von 160 Bechern gemacht hat (Transact. of the Lond. electr. soc. p. 65 und 71; P. A. LV., 62). Er legt die Poldrähte über's Kreuz, doch ſo, daß ſie nach der Berührung wieder etwas von einander entfernt werden, daß alſo ein kurzer Flammenbogen zwiſchen ihnen übergeht. Dabei wird das poſitive Drahtende vom Kreuzungspunkte an in dem Grade rothglühend, daß es erweicht und ſich umbiegt, während der negative Draht verhältnißmäßig kalt bleibt.

Die großartigſten Verſuche über die Wirkungen der Hitze des Flammenbogens hat Despretz angeſtellt. Er brachte in Paris 500 Zinkkohlen-Becher zuſammen. Er ſtellte nun eine Säule von 124 Elementen zuſammen, deren jedes aus 4 Bunſen'ſchen Bechern beſtand. Als ein Stäbchen Zuckerkohle in einem bis auf 5 Millimeter evacuirten Glasballon zwiſchen die Pole des Flammenbogens gebracht wurde, kam es ſtark ins Glühen, und der Ballon überzog ſich mit einem trocknen, kryſtalliniſchen, ſchwarzen Pulver. Kohle aus Gasretorten verhielt ſich ebenſo. — Es beweiſt dies eine Verflüchtigung der Kohle.

Despretz glaubt auch Spuren von Schmelzung der Kohle beobachtet zu haben; jedenfalls beweiſen ſeine Verſuche, daß die Kohle ſich leichter verflüchtigen als ſchmelzen läßt. Er meint, daß ſie in eine Atmoſphäre von comprimirtem Stickgas in metallenen Gefäßen gelingen würde.

Aehnlich wie Kohle verhalten ſich Kalk, Talkerde, das Zinkoxyd u. ſ. w.

Die Thonerde, der Rutil, Anatas, Nigrin, das Eiſenoxyd u. ſ. w. geben anfänglich Kügelchen, gehen aber dann in Dunſt über.

Bevor Despretz mit dieſen 496 Bechern operirte, benutzte er eine Säule von 165 Elementen und combinirte die Hitze ihres Flammenbogens mit der des Knallgasgebläſes und der durch eine Zonenlinſe von 90 Centimeter Durchmeſſer concentrirten Sonnenhitze. Die Wirkung der galvaniſchen Säule wurde durch Hinzuthun dieſer andern Wärmequellen erhöht. (Comptes rendus, Juli 1849, Nr. 3, Dingler's polytechniſches Journal, CXIV. 342.)

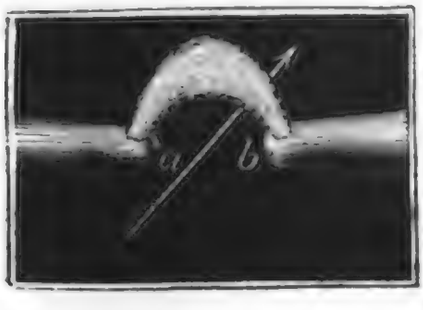
Einwirkung des Magnetismus auf den galvaniſchen Lichtbogen. 167

Daß magnetiſche Kräfte auf die Stellung und Geſtalt des Lichtbogens einen Einfluß haben, hat ſchon Davy beobachtet, und es iſt bekannt, daß der Lichtbogen von einem Magneten in derſelben Weiſe afficirt wird, wie ein vom galvaniſchen Strom durchfloſſener beweglicher Leiter; es muß demnach auch der Erdmagnetismus auf denſelben wirken. Durch die Bewegung der erhitzten Luft wird der Lichtbogen beſtimmt, ſtets eine nach oben gewölbte Biegung anzunehmen. Denkt man ſich bei horizontal liegenden Kohlenſpitzen durch die glühenden Anfangspunkte des Lichtbogens eine ſenkrechte Ebene gelegt, ſo wird in Folge der Wirkung des Erdmagnetismus auf den Lichtbogen, der höchſte Punkt derſelben nie in dieſer Ebene, ſondern auf der einen oder der andern Seite derſelben liegen. Caſſelmann theilt in ſeiner ſchon auf Seite 384 erwähnten Schrift Verſuche über dieſen Gegenſtand mit. Ging bei horizontal einander gegenüberſtehenden Kohlenſpitzen

der Strom von		ſo war die Abweichung des Gipfelpunktes nach
N nach S	. . . . .	O
W nach O	. . . . .	N
S nach N	. . . . .	W
O nach W	. . . . .	S.

Es läßt ſich dies leicht ableiten. In Fig. 152 ſtellen a und b die beiden horizontal gegenüberſtehenden Kohlenſpitzen dar, zwiſchen denen ſich der Lichtbogen bildet. Denken wir uns nun durch a und b eine Verticalebene und in der Mitte zwiſchen a und b rechtwinkelig auf dieſelbe eine gerade Linie gelegt, wie dies durch den Pfeil angedeutet iſt, ſo würde eine in dieſer Linie liegende Stahlnadel durch den Strom des Lichtbogens magnetiſirt werden, und zwar wird das Nordende der Nadel in

Fig. 152.



der Spitze des Pfeiles ſeyn, wenn der poſitive Strom von *a* durch den Bogen nach *b* geht. Durch den Einfluß des Erdmagnetismus wird aber das Nordende der Nadel geſenkt, und dem entſprechend muß alſo auch der Lichtbogen aus der Verticalebene heraus nach der Seite ſich neigen, auf welcher ſich das Nordende der Nadel befindet.

Liegt *a* weſtlich, *b* öſtlich, ſo muß alſo, wenn der Strom von *a* nach *b* geht, eine Neigung nach Norden erfolgen; ginge aber der Strom von Oſt nach Weſt, ſo würde das Nordende der fingirten Magnetnadel auf die Südſeite des Lichtbogens zu liegen kommen, alſo eine Neigung des Bogens nach Süden erfolgen müſſen.

Mit Hülfe dieſer fingirten Magnetnadel kann man unter allen Umſtänden ableiten, wie ſich der Lichtbogen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus oder eines Magnetpols verhalten wird, oder welche Stellung er einnehmen muß, wenn man ihn zwiſchen die beiden Pole eines Hufeiſenmagneten bringt.

Wird ſtatt des einen Kohlenpoles ein Magnetſtab angewandt, ſo daß der Flammenbogen ſich zwiſchen Kohle und Stahl bildet, ſo rotirt der Flammenbogen um den magnetiſchen Stahlpol nach denſelben Geſetzen, nach welchen überhaupt ein beweglicher Strom um einen feſten Magneten rotirt.

Die erſte Notiz über dieſe Rotation des Flammenbogens giebt Walker in den Transactions of the London electrical society from 1837 to 1840. (P. A. LIV. 514.)

Auch de la Rive hat Verſuche über den Einfluß des Magnetismus auf den Volta'ſchen Bogen und zwar nach einer andern Richtung hin angeſtellt; ſie ſind in dem bereits auf Seite 408 angeführten Aufſatz beſchrieben.

Ich will hier die entſprechende Stelle aus de la Rive's Aufſatz ſelbſt folgen laſſen, und zwar deshalb wörtlich, weil ſie ein charakteriſtiſches Beiſpiel des Mangels an Präciſion der Darſtellung iſt, wodurch das Verſtändniß ſeiner Aufſätze ſo ſehr erſchwert wird, wie ich dies bereits auf Seite 409 berührte.

»Wenn zwei Spitzen von weichem Eiſen, die ſich innerhalb Gewinden »von dickem Kupferdraht befinden, als Elektroden angewandt werden, ſo »verſchwindet der zwiſchen denſelben ſich bildende Bogen in dem Momente, »als durch den Draht des Gewindes ein ſtarker Strom geleitet wird, und »er erſcheint wieder, ehe die Spitzen kalt geworden ſind, ſo wie man dieſen Strom aufhebt. Sobald die beiden Eiſenſpitzen magnetiſirt ſind, ſey »es durch eine galvaniſche Wirkung oder durch einen kräftigen Magnet, »kann der Bogen zwiſchen ihnen nicht eher zu Stande kommen, als bis »man ſie einander viel weiter nähert, wo dann aber die Erſcheinung ein

»ganz anderes Anſehen hat. Die fortgeführten Theilchen ſcheinen ſich »mit Schwierigkeit von der poſitiven Elektrode abzulöſen, und Funken »ſprühen mit Geräuſch in allen Richtungen fort, während es im erſten »Fall ein lebhaftes Licht ohne Funken und ohne Geräuſch war, begleitet »von dem anſcheinend mit der größten Leichtigkeit geſchehenden Uebergang »einer flüſſigen Maſſe. Es iſt in dieſer Beziehung für das Reſultat des »Verſuchs von geringem Belang, ob die magnetiſirten Eiſenſtäbe an ihren »zugewandten Enden, zwiſchen welchen der Lichtbogen befindlich iſt, gleich- »oder ungleichnamige Pole beſitzen.

»Wenn die poſitive Eiſen-Elektrode ſtark magnetiſirt iſt, ſo bewirkt ſie »im Moment, wo zwiſchen ihr und der negativen Elektrode, aus welchem »Stoff dieſe auch beſtehe, der Lichtbogen zu Stande kommt, ein ſehr ſtar- »kes Geräuſch, ähnlich dem ſcharfen Ziſchen, mit welchem der Waſſerdampf »aus einer Locomotive entweicht. Dies Geräuſch verſchwindet gleichzeitig »mit der Magnetiſirung.

»Um dieſe verſchiedenen Erſcheinungen beſſer zu trennen, ſtellte ich einen »Elektromagnet von großen Dimenſionen und großer Kraft in ſolcher »Weiſe auf, daß ich an jedem ſeiner Pole oder zwiſchen beiden verſchiedene »Metalle als eine der Elektroden der Säule anbringen konnte, während »eine Spitze von demſelben Metall oder einer andern Subſtanz als die »zweite Elektrode diente. Auch wandte ich zwei Spitzen eines ſelben Me- »talls oder verſchiedener Metalle unter gleichen Umſtänden als Elektroden »an. Folgendes ſind die erhaltenen Reſultate.

»Eine Platinplatte wurde auf einen der Pole des Elektromagneten ge- »legt und eine Spitze deſſelben Metalls vertical darüber aufgeſtellt. Die »Platte wurde poſitiv und die Spitze negativ gemacht, und der Volta'ſche »Bogen zwiſchen beiden entwickelt. Im Moment, wie der Elektromagnet »in Thätigkeit geſetzt ward, ließ ſich ein ſcharfes Ziſchen hören. Um den »Bogen zu unterhalten, mußte man die Spitze näher an die Platte brin- »gen, und der blaue kreisrunde Fleck, welcher ſich auf der Platinplatte »zeigte, war größer als wenn man den Verſuch ohne Einfluß des Elektro- »magnets anſtellte.

»† Nun machte man die Platte negativ und die Spitze poſitiv; dadurch »wurde die Erſcheinung eine ganz andere. So wie der Elektromagnet »geladen war, blieb der Lichtbogen nicht mehr vertical, ſondern nahm eine »ſchiefe Richtung an, wie wenn er auswärts, gegen den Rand der Platte, »geſchoben worden wäre. †† Unaufhörlich wurde er unterbrochen, jedes- »mal begleitet von einem ſcharfen und plötzlichen Geräuſch, ähnlich dem der »Entladung einer Leidner Flaſche. Die Richtung, in welcher der Lichtbo- »gen fortgeſchoben wird, hängt von der Richtung des ihn erzeugenden

»Stromes ab, so wie auch von der Lage der Platte auf dem einen oder »andern der Magnetpole oder zwischen denselben.

»Eine Platte und eine Spitze, beide von Silber, Kupfer oder einem »andern nicht leicht schmelzbaren Metall zeigen im Allgemeinen dieselben »Erscheinungen. Kupfer und noch mehr Silber bieten indeß eine merk»würdige Eigenthümlichkeit dar. Platten von diesen beiden Metallen be»halten auf ihrer Oberfläche die Eindrücke der Wirkung, welche bei den »eben beschriebenen Versuchen stattfinden. Wenn z. B. die Platte positiv »ist, zeigt derjenige Theil ihrer Oberfläche, welcher unter der negativen »Spitze lag, einen Fleck in Form einer Spirale (helix), wie wenn das »daselbst geschmolzene Metall eine wirbelnde Bewegung um ein Centrum »gemacht hätte zur selben Zeit, da es in Form eines Kegels gegen die »Spitze gehoben ward.«

Der Anfang ist klar; nicht so die beiden letzten Absätze. Die Stelle zwischen † und †† läßt vermuthen, daß die schiefe Richtung des Lichtbogens nur dann eintritt, wenn die Platte negativ, die Spitze positiv ist; einige Zeilen später lesen wir aber, daß die Richtung, in welcher der Lichtbogen fortgeschoben wird, von der Richtung des erzeugenden Stromes abhängt; es muß also auch stattfinden, wenn die Platte positiv und die Spitze negativ ist. — Außerdem liegt in dieser Stelle eine dunkle Andeutung vom Rotiren des Flammenbogens, aber so dunkel, daß der, welcher von dieser Erscheinung nichts weiß, nach dieser Darstellung sicherlich keine Vorstellung davon erhält. Daß dem Genfer Physiker dies Rotiren bei Abfassung dieser Stelle wirklich vorgeschwebt habe, geht auch aus dem Schluß des letzten Absatzes hervor. — Aehnlichen Uebelständen begegnet man in de la Rive's Abhandlungen öfters; seine Beschreibung giebt selten ein klar verständliches Bild der Erscheinung. — Es ist sehr zu bedauern, wenn auf solche Weise die Resultate so mancher schönen und schwierigen Experimentalunterſuchung nur mangelhaft zur Kenntniß des physikalischen Publikums kommen.

168 **Benutzung des galvanischen Lichtes zur Beleuchtung.** Die große Lichtstärke des galvanischen Kohlenlichtes mußte bald auf die Idee führen, dasselbe zur Beleuchtung anzuwenden, nachdem durch die Erfindung der constanten Ketten die Erzeugung desselben gegen früher sehr erleichtert worden war.

Deleuil hat mehrmals öffentliche Versuche mit dieser Art von Beleuchtung angestellt. Das erstemal beleuchtete er den Pavillon eines Hauses an der Pont neuf in Paris mit 98 Zinkkohlenelementen. Acherau stellte ähnliche Versuche auf dem Concorde Platze an. (Dingler's polyt. Journal, 91. Band, S. 324.)

Wenn auch die Intensität des galvanischen Kohlenlichtes eine enorme ist, wenn auch eine Batterie von 48 Bunsen'schen Elementen ebenso viel Licht giebt, wie 63 gewöhnliche Gasbrenner, so erscheint doch das galvanische Licht zur öffentlichen Beleuchtung unpraktisch und zwar vorzugsweise aus folgenden Gründen.

Eine ungeheure Lichtmenge geht hier von einem einzigen Punkte aus, man wird deshalb sehr schroffe Contraste zwischen Licht und Schatten erhalten; im Schatten herrscht eine Dunkelheit, die eben wegen des Gegensatzes zum blendenden Lichte um so störender ist. Jedenfalls erhält man eine angenehmere, gleichförmigere Beleuchtung, wenn man 63 Gasflammen gehörig vertheilt, als wenn man ein ihnen äquivalentes Licht auf einem Punkte concentrirt.

Ein zweiter Umstand, welcher der Anwendung des galvanischen Kohlenlichtes hinderlich ist, besteht in der Schwierigkeit, auf längere Zeit eine gleichmäßige Lichtstärke zu erhalten.

Durch die Bildung von Zinkvitriol nimmt die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit so stark ab, daß schon nach einer halben Stunde die Stromstärke bedeutend schwächer ist als anfangs; aber selbst davon abgesehen, ist die Unterhaltung der Batterie höchst kostspielig, denn es wird ungleich mehr Zink verzehrt, als zur Unterhaltung des Stromes nöthig ist, und die Salpetersäure wirkt zerstörend auf die Metallringe, welche die Kohlencylinder umgeben. — Den Uebelständen, welche die Anwendung der Salpetersäure mit sich bringt, ließe sich zwar durch Anwendung von Daniell'schen Elementen entgehen, dann aber müßte man die Batterie bedeutend vergrößern (Seite 299), um gleiche Wirkung zu erhalten.

Von ökonomischer Seite empfiehlt sich also die galvanische Beleuchtung von Straßen, Sälen, Theatern u. s. w. nicht. Dazu kommt noch der Uebelstand, daß die Behandlung der Säule und des ganzen Apparates zu difficil ist, als daß man sie den Personen anvertrauen könnte, welche gewöhnlich die Beleuchtung besorgen, daß die Kohlenspitzen sich fortwährend verändern, und man ihre gegenseitige Stellung also auch fortwährend reguliren muß, um die Gleichförmigkeit des Lichtes zu erhalten und sein Auslöschen zu verhindern. Durch mechanische Mittel ist diese Regulirung schwer zu erhalten; doch hat es in dieser Beziehung nicht an verschiedenen Vorschlägen gefehlt. So ließ sich z. B. le Molt im Jahre 1848 in England einen Apparat zur galvanischen Beleuchtung patentiren, in welchem Kohlenscheiben von der Form Fig. 153 statt der Kohlenstäbchen angewandt werden. Zwei solcher Scheiben stehen mit ihren scharfen Rändern einander gegenüber; ihre Axe wird durch ein Uhrwerk gleichmäßig umgedreht und ihre Entfernung durch eine Metallfeder regulirt.

Fig. 153.

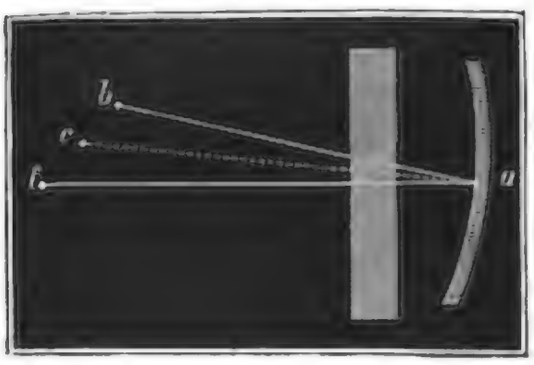
Somit iſt wohl ſchwerlich zu erwarten, daß die Anwendung des Galvanismus zur öffentlichen Beleuchtung praktiſche Erfolge haben wird. Sehr günſtige Reſultate haben dagegen die Verſuche von Donné und Foucault geliefert, welche das Kalklicht des ſogenannten Gasmikroſkop durch das galvaniſche Kohlenlicht erſetzten.

Eine ziemlich vollſtändige Beſchreibung des photo-elektriſchen Mikroſkops von Donné und Foucault findet ſich in der 4ten Auflage von Pouillet's Eléments de physique expérimentale u. ſ. w., im zweiten Theil, S. 746. Wir müſſen uns hier darauf beſchränken, das Weſentlichſte des Apparates anzudeuten. Der Lichtbogen wird zwiſchen Kohlenſtäbchen erzeugt, die aus der harten Kohle geſchnitten ſind, wie ſie die Gasretorten liefern; ſie haben die in Fig. 154 dargeſtellte Form, und zwar iſt das als negative Elektrode dienende Kohlenſtück zugeſpitzt, das andere gerade abgeſtumpft. Dieſe Kohlenſtücke ſind ſo gefaßt, daß ihre Stellung leicht regulirt werden kann.

Fig. 154.

Wie der Beleuchtungsapparat dieſes Mikroſkops eingerichtet iſt, kann der Hauptſache nach aus der ſchematiſchen Fig. 155 erſehen werden. *a* iſt ein Hohlſpiegel von ungefähr 1 Decimeter Oeffnung und 1,6 Decimeter Radius. Das Kohlenlicht befindet ſich bei *b*, etwas näher bei dem Spiegel als dem Krümmungsmittelpunkte *c* deſſelben und etwas höher als *c*, ſo daß die von *b* ausgehenden auf den Spiegel fallenden Strahlen in *f* wieder vereinigt werden und hier den kleinen Gegenſtand ſtark erleuchten, welcher vergrößert dargeſtellt werden ſoll. — Das Linſenſyſtem, welches das vergrößerte Bild des kleinen Gegenſtandes auf einer 4 bis 5 Meter entfernten Wand entwerfen ſoll, iſt ganz ſo eingerichtet, wie bei einem Sonnenmikroſkop.

Fig. 155.



Damit in *f* nicht eine zu große Hitze entſteht, iſt zwiſchen *b* und dem Spiegel ein Gefäß angebracht, deſſen Hauptwände durch Platten von geſchliffenem Spiegelglas gebildet ſind, und welches mit einer Alaunlöſung gefüllt wird, welche einen großen Theil der Wärmeſtrahlen abſorbirt, ohne die Lichtſtärke merklich zu ſchwächen.

Man kann das durch den Hohlſpiegel erzeugte Bild des Flammenbogens in *f* ſelbſt zum Gegenſtand nehmen, welcher durch die Linſen vergrößert dargeſtellt wird, nur muß man alsdann eine ſchwächere Vergrö-

ßerung anwenden. Man erhält ſo ein ſtark vergrößertes Bild des Flammenbogens auf dem weißen Schirme und kann mit Muße alle Erſcheinungen beobachten, welche ihn begleiten.

Man kann das vergrößerte Bild des galvaniſchen Lichtbogens aber auch mit weit einfacheren Mitteln darſtellen; man braucht ihn nur direct nahe an den Brennpunkt einer Linſe von 1 bis 3 Centimeter Brennweite zu bringen. Natürlich muß man dafür ſorgen, daß das Kohlenlicht ſo eingeſchloſſen iſt, daß außer dem Linſenbild kein Licht auf den Schirm fällt. —

Galvaniſche Grubenbeleuchtung. Was von der galvaniſchen Be- 169
leuchtung im Allgemeinen geſagt wurde, gilt auch von den Vorſchlägen zur Grubenbeleuchtung durch Galvanismus; es ſind ſchwerlich viel praktiſche Erfolge davon zu erwarten. Weil man in einem luftleeren Glasgefäß, alſo ganz abgeſperrt von der äußeren Luft, ja unter Waſſer, das galvaniſche Kohlenlicht erzeugen kann, ſo glaubte Bouſſingault, es ließe ſich wohl ſtatt der Davy'ſchen Sicherheitslampe zur Beleuchtung ſolcher Gruben anwenden, in denen entzündliche Gaſe die Anwendung offener Lampen gefährlich macht. Allein man hat in den Gruben gar kein intenſives Licht an einer Stelle, ſondern nur ſchwache Lichte an ſehr verſchiedenen Stellen. Derſelbe Einwand läßt ſich gegen de la Rive's Vorſchläge machen, welcher in einem hermetiſch verſchloſſenen Glasballon den poſitiven Strom von einem vertical ſtehenden Kohlencylinder, zu einem ſenkrecht darüber angebrachten Metallcylinder übergehen läßt. (Dingler's polytechniſches Journal, XCVIII. S. 158 und 232; Moniteur industr. 1845, Nr. 961 und Nr. 965.)

Grove brachte ſtatt des Kohlenlichtes einen galvaniſch glühenden Platindraht in Vorſchlag, welcher ſich in einem hermetiſch verſchloſſenen Glasgefäß befindet. (Dingler's polytechniſches Journal, XCIX. S. 201; Philos. Magazine, December 1845, S. 442.) Er giebt dem Platindraht die Form einer Spirale, was außer dem Vortheil, ein längeres Stück Platindraht auf einen kleineren Raum zu bringen, auch noch den Vortheil hat, daß wegen der geringeren Abkühlung bei gleicher Stromſtärke die Platinſpirale ſtärker glüht, als wenn daſſelbe Drahtſtück geradlinig ausgeſpannt würde.

Ueber die Länge und Dicke des zur Spirale verwendeten Platindrahtes giebt Grove nichts Näheres an, ebenſo fehlen genauere Angaben über die Conſtruction der Platinſpirale; mit 2 bis 3 conſtanten Zinkplatinelementen erhält man auf dieſe Weiſe ein Stunden lang conſtantes Licht. Grove experimentirte bei dieſem Licht; was er that, iſt nicht angegeben, ſo daß alſo dieſe Notiz doch nur eine ſehr mangelhafte Vorſtellung von der Leuchtkraft des Apparates giebt. Zu Grubenarbeiten mag das Licht wohl

vollkommen ausreichen, und ſo iſt dieſer Vorſchlag weit praktiſcher, als die Benutzung des Kohlenlichtes zur Grubenbeleuchtung, namentlich da man nur wenig conſtante Becher dazu nöthig hat, während das Kohlenlicht eine große Batterie in Anſpruch nimmt; da aber auch dieſer Apparat jedenfalls koſtſpieliger und ſchwieriger zu behandeln iſt als die Davy'ſche Sicherheitslampe, ſo iſt in der Praxis wohl ſchwerlich eine große Verbreitung dieſer Beleuchtungsmethode zu erwarten.

Statt der Platinſpirale bringt King einen Streifen von ganz dünn gewalztem Platinblech in Anwendung, welchen er durch den galvaniſchen Strom glühend macht. (London Journal of arts, Juni 1846, S. 348; Dingler's polytechn. Journal CI. S. 12.)

170 **Der galvaniſche Funke.** Die meiſten Beobachter, welche über den galvaniſchen Lichtbogen Verſuche angeſtellt haben, machten die Beobachtung, daß man erſt die beiden Pole in Berührung bringen muß, wenn der Strom ſich bilden ſoll. Waren die Kohlenſpitzen einmal in Berührung, ſo kann man ſie nun von einander entfernen, wobei ſich dann der Lichtbogen bildet. — Die Bildung des Lichtbogens kann man auch anſtatt der Berührung dadurch bewerkſtelligen, daß man zwiſchen den Kohlenſpitzen den Entladungsfunken einer Leidner Flaſche überſchlagen läßt, eine Beobachtung, die Daniell (Phil. Transact. 1839, 89; Pogg. Ann. LX. 379.), und vor ihm ſchon Sturgeon gemacht hatte (Ann. of El. VIII. 507; P. A. XLIX. 122.), welcher glaubt, daß dieſer Verſuch von J. Herſchel herrührt. — Hier wird die Strombildung offenbar dadurch veranlaßt, daß der Funke leitende Partikelchen von einem Pol zum andern überführt.

Selbſt die kräftigen Batterien, welche man zur Erzeugung des Lichtbogens anwandte, haben alſo noch keine hinreichende Spannung, um das Ueberſpringen eines Funkens ſelbſt auf die kleinſten Entfernungen möglich zu machen.

Jakobi hat ſich durch genaue Meſſungen überzeugt, daß die Pole einer Säule von 12 Zinkplatinpaaren bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne daß ein Funken überſprang (Bulletin der Petersburger Akademie; P. A. XLIV. 633.).

Förmliche Funken hat Gaſſiot mit ſeiner großen Waſſerbatterie erhalten (Phil. Transact. f. 1844. pt. I. p. 39; P. A. LXV. 476.). Dieſe merkwürdige Batterie beſtand aus 3520 Bechern, deren jeder einen Zinkſtab und einen Kupfercylinder enthielt. Zur Ladung diente Regenwaſſer. Die 3520 Glasbecher waren auf 44 eichene Bretter vertheilt, von denen immer 11 ein Geſtell, einem Bücherrepoſitorium ähnlich, und von 4 ſtarken Ständern getragen, bildeten. Beſondere Sorgfalt war auf

die Isolirung verwendet worden; die Becher waren gefirnißt und standen auf Glasplatten, die ebenso wie die Bretter mit einem ähnlichen Firnißüberzug versehen waren.

Es ließe sich wohl erwarten, daß diese Batterie im ungeschlossenen Zustande bedeutende Spannungserscheinungen hervorbringen mußte; und in der That divergirten die Pendel eines Goldblattelektroskops schon, wenn man es dem einen Pole auf 2 bis 3 Zoll näherte. —

Sobald die Kette geschlossen wurde, verschwanden alle Zeichen von Spannung.

Als die Pole der Batterie auf 0,02 Zoll genähert wurden, schlugen unausgesetzt Funken zwischen ihnen über. In einem Fall dauerte dies Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang. Mehrere Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie noch keine Abnahme ihrer Kraft.

Da die gewöhnlichen galvanischen Ketten gar keine Schlagweite haben, so ist klar, daß die Lichterscheinungen, welche man beim Schließen und Oeffnen selbst einfacher Ketten beobachtet, ein ganz anderes Phänomen seyn muß, als der gewöhnliche elektrische Funken.

In dem so eben angeführten Aufsatz Jakobi's spricht er seine Ansicht dahin aus, daß der gewöhnliche galvanische Funke eine Glüh- und Verbrennungserscheinung sey; die äußersten feinen Spitzen, welche zuerst in Berührung kommen und welche zuerst die Stromleitung herstellen, werden glühend und verbrennen und veranlassen dadurch nach Jakobi's Meinung die Lichterscheinung. Daß bei kräftigeren Funken solche Glüh- und Verbrennungserscheinungen vorkommen, unterliegt keinem Zweifel, allein hier ist das Phänomen schon ein zusammengesetztes; man beobachtet den bei der Schließung oder Oeffnung der Kette den Funken unter Umständen, wo ein Glühen oder Verbrennen höchst unwahrscheinlich ist.

Neeff hat gezeigt, daß diese Lichterscheinung, wenn sie ganz einfach ohne secundäre Stromwirkungen auftritt, weder ein elektrischer Funken im gewöhnlichen Sinne des Wortes, d. h. daß es nicht ein von Pol zu Pol überspringender Funken ist, noch daß sie einer Metallverbrennung zugeschrieben werden kann (P. A. LXVI. 414.).

An seinem sogenannten Magnetelektrometer, wie er in der 3ten Auflage meines Lehrbuches der Physik, 2ter Theil, Seite 251, beschrieben ist, findet bei *c* eine continuirliche Schließung und Unterbrechung des Stromes statt, welche von einer entsprechenden Lichterscheinung begleitet ist. Bei jener Form des Apparates wird die Beobachtung der Lichterscheinung freilich durch die Breite des Hammers, welcher auf das Platinblättchen schlägt, verdeckt. Bei einer von Desaga in Heidelberg erdachten sehr zweckmäßigen Modification dieses Apparates, welche weiter unten näher beschrie-

ben werden ſoll, iſt der Hammer durch eine Platinſpitze erſetzt, ſo daß in raſcher Aufeinanderfolge die Berührung zwiſchen einer Platinſpitze und einer Platinplatte hergeſtellt und wieder unterbrochen wird.

Wenn der Apparat im Gange iſt, beobachtet man an der Trennungsſtelle eine Lichterſcheinung, welche der Schnelligkeit der Oscillation wegen ganz continuirlich erſcheint.

Schon das bloße Auge beobachtet bei gedämpftem Tageslicht hier ein violettes Licht, der poſitive Strom mag von der Spitze zur Platte, oder von der Platte zur Spitze gehen; aber das Lichtpünktchen iſt überaus klein, und dadurch kam Neeff auf den Gedanken, die Erſcheinung mit dem Mikroſkop zu unterſuchen.

Mit bewaffnetem Auge beobachtete er, daß das Lichtphänomen immer nur am negativen Pol ſtattfindet.

Am beſten beobachtet man die Erſcheinung durch ein Mikroſkop, welches bei 25- bis 50facher Vergrößerung erlaubt, das Objectiv wenigſtens $1\frac{1}{2}$ Zoll weit vom Lichtpunkt anzubringen.

Geht der poſitive Strom von der Platte zur Spitze über, ſo erſcheint die Spitze in ein violettes Licht eingehüllt, während die Platte ganz dunkel bleibt.

An dem unterſten Ende der Spitze erſcheinen in dem ſtetigen violetten Lichte einzelne außerordentlich feine Pünktchen von blendend weißem Lichte, welche eine wimmelnde Bewegung zeigen; allein auch bis gegen das obere Ende der violetten Lichthülle hin ſieht man violettes Licht von größerer Intenſität aufblitzen, ohne daß irgend ein Ueberſpringen nach dem andern Pole zu bemerken wäre.

Dies letztere Aufblitzen verſchwindet mehr und mehr, wenn der Strom ſchwächer wird.

Geht der Strom in entgegengeſetzter Richtung, iſt alſo die Spitze poſitiv, ſo erſcheint ſie ganz dunkel, und das violette Licht iſt auf der Platte um den Berührungspunkt herum ausgebreitet.

Hier iſt alſo durchaus kein eigentlicher Funken zu beobachten, allein auch einem Verbrennen des Platins kann dieſer gleichförmige ruhige violette Lichtſchimmer nicht zugeſchrieben werden.

Neeff macht noch beſonders darauf aufmerkſam, daß dieſe Lichterſcheinung auf den negativen Pol beſchränkt iſt, während die ſtärkſte Wärmeentwickelung gerade am poſitiven Pol auftritt.

Fünfter Abſchnitt.

Die chemiſchen Wirkungen des Stromes.

Daniell's Unterſuchungen über Elektrolyſe. Daß die chemi- 171
ſche Zerſetzung, welche ein galvaniſcher Strom hervorbringt, ſtets der Stromſtärke proportional ſey, iſt ein Satz, der wohl jetzt als feſt begründet angeſehen werden kann, und dennoch hat uns eine genauere Unterſuchung der Elektrolyſe verſchiedener Körper Erſcheinungen kennen gelehrt, die wir bis jetzt noch nicht genügend unter dieſes Geſetz zu bringen wiſſen. — Läßt man den Strom gleichzeitig durch eine Tangentenbuſſole und durch ein Voltameter gehen, ſo iſt die Quantität des entwickelten Knallgaſes ſtets der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, mag nun die Flüſſigkeit im Voltameter verdünnte Schwefelſäure, eine Löſung von Phosphorſäure oder auch eine Löſung von ſchwefelſaurem Natron ſeyn. Caſſelmann hat dies in ſeiner ſchon mehrfach erwähnten Abhandlung (Seite 70) durch eine Reihe genauer Verſuche nachgewieſen.

Auf den erſten Anblick ſcheint dies ganz vortrefflich mit dem Geſetz der feſten elektrolytiſchen Action zu harmoniren; bei der Salzlöſung aber ergab ſich, daß dieſelbe ebenfalls zerlegt war, daß die Säure an der poſitiven, die Baſis an der negativen Polplatte angehäuft war, daß alſo neben der, der Stromſtärke entſprechenden Waſſerzerſetzung auch noch ein Theil des Salzes zerlegt worden iſt.

Dieſe Erſcheinung hat zuerſt Daniell genauer beobachtet und unterſucht. (Phil. Transact. 1839, pt. I, pag. 97; 1840, pt. I., pag. 209; P. A. 1842, Ergänzungsband 565 und 580.)

In den Schließungsbogen einer Säule von 30 conſtanten Zinkkohlenzellen wurde eine Zerſetzungszelle von folgender Einrichtung eingeſchaltet. Ein ſtarker Glascylinder, etwa 14 Kubikzoll faſſend, urſprünglich oben und unten geſchloſſen, war der Länge nach durchſchnitten, dann zwiſchen

beiden Hälften eine poröſe Thonplatte gelegt, und nun das Ganze durch Meſſingringe mit Schrauben wieder vereinigt. — In jeder der beiden ſo gebildeten Zellen befand ſich eine Platinelektrode $2^3/_4$ Zoll lang und 1 Zoll breit, befeſtigt an einem Draht, der durch den Boden des Gefäßes geht. Ein oben in jede Zelle eingeſchliffenes gekrümmtes Glasrohr diente zur Fortleitung des entwickelten Gaſes. Ein vorläufiger Verſuch zeigte, daß deſtillirtes Waſſer, mit dem die eine Zelle gefüllt ward, noch nach 24 Stunden nicht in merklicher Menge in die andere gedrungen war.

Fig. 156.

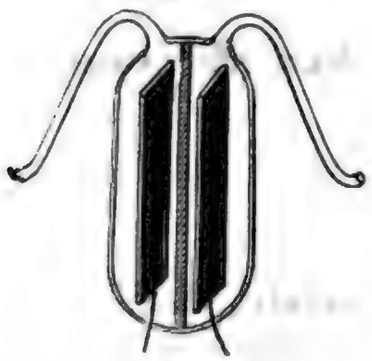


Fig. 156 ſtellt dieſen Apparat, jedoch nur ſchematiſch dar. An der citirten Stelle von Poggendorff's Annalen iſt zwar auf eine Tafel VI. verwieſen, auf welcher die zum Daniell'ſchen Aufſatz gehörigen Figuren ſich befinden ſollen, allein dieſe Tafel fehlt, und zwar in allen Exemplaren, die ich nachſehen konnte.

Der erſte Verſuch, welcher mit dieſem Apparate angeſtellt wurde, war folgender; beide Zellen wurden bis zur Bedeckung der Elektroden mit einer Löſung von ſchwefelſaurem Natron gefüllt, und der Apparat dann ſo lange mit der Batterie in Verbindung erhalten, bis die entwickelten Gaſe zuſammen 29 Kubikzoll (reducirt 28,3 Kubikzoll) betrugen. Dem Gewichte nach waren alſo 3,6 Gran Waſſer zerſetzt worden.

Die Löſung an der negativen Polplatte war ſtark alkaliſch; ſorgfältig mit einem Glasheber herausgenommen und mit Schwefelſäure von beſtimmtem Gehalt geſättigt, fanden ſich darin 12 Gran freien Natrons.

Die Löſung am poſitiven Pol war ſauer und ergab bei Sättigung mit einer Löſung von kohlenſaurem Natron von beſtimmtem Gehalt, 15,1 Gran freier Schwefelſäure.

Setzen wir das Atomgewicht des Sauerſtoffs = 100, ſo iſt das des Waſſers 112,5; das Atomgewicht der Schwefelſäure iſt dann 500 und das des Natrons 390.

Nun verhalten ſich aber

$$112{,}5 : 390 = 3{,}6 : \mathbf{12{,}5}$$

und

$$112{,}5 : 500 = 3{,}6 : \mathbf{16}.$$

Auf 1 Aequivalent zerlegten Waſſers iſt alſo in der einen Zelle ſehr nahe 1 Aequivalent Schwefelſäure, in der andern ſehr nahe 1 Aequivalent Natron ausgeſchieden worden.

Mehrere Verſuche mit andern Salzen gaben daſſelbe Reſultat.

Ueber das Verhältniß der chemiſchen Zerſetzung zur Stromſtärke giebt uns dieſer Verſuch noch gar keinen Anhaltspunkt. Dies Verhältniß würde ſich am einfachſten und präciſeſten ergeben haben, wenn außer der erwähnten Zerſetzungszelle noch eine Tangentenbuſſole in den Strom eingeſchaltet geweſen wäre; leider ſcheint dies Inſtrument in England noch faſt gar nicht bekannt zu ſeyn, wenigſtens wird es wenig angewendet.— Daniell ſchaltete ſtatt deſſen noch ein Voltameter in den Strom ein, welches mit verdünnter Schwefelſäure gefüllt war; es ergab ſich gleich viel Knallgas im Voltameter und in der mit Glauberſalz gefüllten Zelle, allein es ergab ſich, daß auch in dem Voltameter außer der Waſſerzerſetzung noch eine weitere Wirkung ſtattgefunden hatte, denn die Säure hatte ſich am poſitiven Pole angehäuft.

Deshalb unterſuchte Daniell die Zerſetzung der verdünnten Schwefelſäure in einer mit poröſer Scheidewand verſehenen Zerſetzungszelle genauer und fand, daß, nachdem eine beſtimmte Menge Gas entwickelt war, ſich in der Abtheilung der poſitiven Polplatten im Vergleich zum zerſetzten Waſſer ungefähr $^1/_4$ Aequivalent Schwefelſäure mehr, in der Abtheilung der negativen Polplatte $^1/_4$ Aequivalent Schwefelſäure weniger vorhanden war als vor dem Verſuch; es hat alſo hier neben der Waſſerzerſetzung eine der Zerlegung des Salzes analoge Trennung von Waſſer und Schwefelſäure, wenn auch nur zu $^1/_4$ Aequivalent, ſtattgefunden.

Dieſe Ueberführung von Schwefelſäure im Betrage von nahezu $^1/_4$ Aequivalent des zerlegten Waſſers war von dem Concentrationsgrade der Säure unabhängig. Daniell hat den Verſuch auf mannichfache Weiſe abgeändert, iſt aber immer zu demſelben Reſultat gekommen.

Ein Voltameter mit Schwefelſäure gefüllt iſt alſo hier nicht anwendbar, um die Stärke des Stromes zu meſſen, welcher durch die Glauberſalzlöſung hindurchgeht.

Außer der mit der Salzlöſung gefüllten Doppelzelle ſchaltete Daniell nun noch geſchmolzenes Chlorblei in den Schließungsbogen der Batterie ein. Es befand ſich in einer gebogenen über einer Weingeiſtlampe befindlichen Röhre von bleifreiem Glaſe; als negativer Pol diente im geſchmolzenen Chlorblei ein Platindraht, während der negative Pol durch Graphit gebildet war. Am Graphit entwich das Chlorgas, am Platindraht ſetzte ſich das ausgeſchiedene Blei ab.

Hier ergab ſich nun folgendes merkwürdige Reſultat. Auf 1 Aequivalent zerſetzten Chlorbleis wurde in der andern Zerſetzungszelle 1 Aequivalent Waſſer und außerdem noch 1 Aequivalent Salz zerlegt.

Nach der gewöhnlichen Betrachtungsweiſe erſcheint alſo in der Salzlöſungszelle eine doppelt ſo große chemiſche Wirkung als diejenige iſt, welche

derselbe Strom in der Chlorbleizelle hervorbrachte; mit dem Gesetz der festen elektrolytischen Action steht das in directem Widerspruch.

Um diesen Widerspruch zu heben, betrachtet Daniell die Constitution der Salze anders, als es gewöhnlich geschieht; er betrachtet z. B. das schwefelsaure Natron nicht als zunächst gebildet durch die Verbindung von Säure und Basis, sondern er nimmt an, der elektronegative Bestandtheil des Salzes sey 1 Aequivalent Schwefel mit 4 Aequivalenten Sauerstoff, während der positive Bestandtheil dieses Salzes nur Natrium ist.

Gemäß dieser Ansicht wäre also

Schwefelsaures Natron	nicht	$SO_3.NaO$,	sondern	$SO_4.Na$,
Schwefelsaures Kali	»	$SO_3.KO$	»	$SO_4.K$,
Salpetersaures Kali	»	$NO_5.KO$	»	$NO_6.K$,
Phosphorsaures Natron	»	$PO^5/_2.NaO$	»	$PO^7/_2.Na$,
Kupfervitriol	»	$SO_3.CuO$	»	$SO_4.Cu$.

Geht der Strom durch die Auflösung eines solchen Salzes, so wird nicht das Wasser, sondern das Salz in die eben bezeichneten Bestandtheile zerlegt. Bei der Elektrolysation des Glaubersalzes tritt also an der positiven Polplatte als directe Wirkung der Elektrolyse SO_4 auf, von dem sich aber sogleich O abscheidet, um gasförmig zu entweichen und SO_3 zurückzulassen, während das am andern Pol ausgeschiedene Na den Sauerstoff des Wassers an sich zieht, und so für jedes Aequivalent Na ein Aequivalent Wasserstoff entbindet, während das durch secundäre Wirkung entstandene NaO in der Flüssigkeit gelöst bleibt.

Ganz ebenso geht der Proceß bei der Elektrolysation des Kupfervitriols vor sich, mit dem einzigen Unterschiede, daß das am negativen Pol reducirte Kupfer sich nicht sogleich wieder oxydirt und dadurch Wasserstoff frei macht, sondern sich in metallischer Form in den negativen Pol ansetzt.

Daniell schlägt auch eine dieser theoretischen Ansicht von der Constitution der unorganischen Salze entsprechende neue Nomenclatur vor; so nennt er die Verbindung SO_4 Oxysulphion, NO_6 Oxynitrion u. s. w. Demgemäß ist

Schwefelsaures Kupferoxyd = Kupferoxysulphion,
Salpetersaures Kali = Kaliumoxynitrion
u. s. w.

Die Versuche mit concentrirter Salmiaklösung stimmen ganz mit der Ansicht überein, daß der Salmiak Chlor-Ammonium sey, also zusammengesetzt ist aus dem einfachen Anion (negativer Bestandtheil) Cl (Chlor) und dem zusammengesetzten Kathion (positiver Bestandtheil) NH_4 (Ammonium). Der aus Zinn bestehende positive Pol wurde aufgelöst, während am negativen Pol Wasserstoff und Ammoniak frei wurde, entstanden durch das Zerfallen von NH_4 in NH_3 und H.

Das ſchwefelſaure Ammoniak iſt demgemäß Ammonium-Oxyſulphion, $SO_4 . NH_4$.

Dieſe Anſichten führen dann auch zu der in der Chemie ſchon mehrfach beſprochenen Verallgemeinerung der Theorie der Waſſerſtoffſäuren, der zu Folge die waſſerhaltigen Sauerſtoffſäuren, wie die Waſſerſtoffſäuren, binäre Verbindungen von Waſſerſtoff mit einem Radical ſind; ſo wäre alſo die Schwefelſäure $SO_4 . H$.

Zwiſchen Schwefelſäurehydrat $SO_4 . H$ und ſchwefelſaurem Natron $NO_4 . Na$ beſtände demnach dieſelbe Beziehung wie zwiſchen Salzſäure ClH und Kochſalz ClNa; das H iſt nur durch Na erſetzt.

Mit dieſer Anſicht wollen nun die oben erwähnten Verſuche über die Elektrolyſe der verdünnten Schwefelſäure noch nicht recht harmoniren.

Wenn das Schwefelſäurehydrat wirklich Waſſerſtoffoxyſulphion iſt, ſo muß es bei der Elektrolyſe in H und SO_4 zerlegt werden; das am poſitiven Pol freiwerdende Oxyſulphion zerfällt aber ſogleich in SO_3 und O, welch letzterer Beſtandtheil gasförmig entweicht, während SO_3 in der Flüſſigkeit zurückbleibt; es müßte alſo für jedes Aequivalent Waſſerſtoffgas, welches an der negativen, und für jedes Aequivalent Sauerſtoffgas, welches an der poſitiven Elektrode frei wird, ein Aequivalent Schwefelſäure SO_3 am poſitiven Pol auftreten; den oben angeführten Verſuchen zufolge findet ſich aber nach der Elektrolyſe in der poſitiven Zelle nur $1/4$ Aequivalent SO_3 mehr als vorher.

Der Verſuch wurde auf mehrfache Weiſe abgeändert, aber ſtets mit demſelben Erfolge.

Ebenſo verhielt ſich Phosphorſäure. Durch die Elektrolyſe wurde der Gehalt an Phosphorſäure in der poſitiven Zelle nur um $1/4$ Aequivalent vermehrt.

Derſelbe Verſuch, mit Aetzkalilauge angeſtellt, zeigte, daß während 1 Aequivalent Waſſer zerſetzt wurde, etwas weniger als $1/5$ Aequivalent Kali zum negativen Pole wanderte.

Barytwaſſer gab gleiche Reſultate wie Aetzkalilauge.

Eine große Stütze würde es für die Daniell'ſche Anſicht geweſen ſeyn, wenn es ihm gelungen wäre, das hypothetiſche Oxyſulphion, SO_4, zu iſoliren. Um dies wo möglich zu erreichen, nahm er die Elektrolyſe verdünnter Schwefelſäure, verdünnter Phosphorſäure, oder einer Löſung von ſchwefelſaurem Natron in einer Uförmig gebogenen, unten mit Scheidewänden verſehenen Zerſetzungszelle vor und erkaltete den Schenkel, welcher die poſitive Polplatte enthielt, mittelſt einer Kältemiſchung bis auf 0° F.; er dachte durch die Kälte das Zerfallen von SO_4 in SO_3 und O zu verhindern. Dieſe Verſuche führten aber zu keinem Reſultat.

Daniell machte nun Verſuche mit Löſungen ſaurer Salze. Er be-

reitete eine Löſung von ſaurem ſchwefelſaurem Kali. Nach der Elektrolyſe ergab ſich, daß für jedes Aequivalent Waſſerſtoffgas, welches an dem negativen Pol entwickelt worden war, ein Aequivalent Sauerſtoff am poſitiven Pol aufſtieg, daß aber nur die Zelle des negativen Poles $^1/_3$ Aequivalent Kali und die Zelle des poſitiven Poles $^1/_2$ Aequivalent Schwefelſäure mehr enthielt als vorher, oder mit andern Worten für 1 Aequivalent zerſetzten Waſſers iſt $^1/_3$ Aequivalent Kali zum negativen und $^1/_2$ Aequivalent Schwefelſäure zum poſitiven Pole übergeführt worden.

Dies Reſultat erſcheint auf den erſten Anblick ſehr verwickelt, doch gelang es Daniell, es unter einen einfachen Geſichtspunkt zu bringen. — Nehmen wir nämlich an, die Flüſſigkeit beſtehe aus drei Elektrolyten, Waſſer, neutrales ſchwefelſaures Kali und Schwefelſäurehydrat, oder nach Daniell's Bezeichnung OH, SO_4K und SO_4H. Theilt ſich nun der Strom ſo, daß die Hälfte durch HO, ein Viertel durch SO_4K und ein Viertel durch SO_4H geleitet wird, ſo ergeben ſich als directe Reſultate der Zerſetzung:

Am poſitiven Pol.	Am negativen Pol.
Aus OH	
$^1/_2$ Aeq. O	$^1/_2$ Aeq. H.
Aus SO_4K	
$^1/_4$ Aeq. SO_4	$^1/_4$ Aeq. K.
Aus SO_4H	
$^1/_4$ Aeq. SO_4	$^1/_4$ Aeq. H.

Durch ſecundäre Wirkung zieht jetzt das $^1/_4$ Aeq. Kali $^1/_4$ Aeq. Sauerſtoff an ſich, um $^1/_4$ Aeq. KO zu bilden, wodurch hier $^1/_4$ Aeq. H frei wird, auf der andern Seite aber zerfällt das SO_4 in SO_3 und O, und ſo haben wir

am poſitiven Pol	am negativen Pol
$^1/_2$ Aeq. O	$^1/_2$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + $^1/_4$ Aeq. O	$^1/_4$ Aeq. KO + $^1/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + $^1/_4$ Aeq. O	$^1/_4$ Aeq. H
$^1/_2$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O,	$^1/_4$ Aeq KO + 1 Aeq. H,

was in der That mit den Reſultaten des Verſuchs ganz gut übereinſtimmt.

Dies gab nun auch den Schlüſſel, um die Zerſetzung der verdünnten Schwefelſäure zu erklären; ſie iſt ein zuſammengeſetztes Elektrolyt, beſtehend aus Waſſer und Schwefelſäurehydrat; der Strom theilt ſich ſo, daß $^3/_4$ durch das Waſſer, $^1/_4$ durch das Schwefelſäurehydrat geleitet werden und man erhält alſo

am poſitiven Pol	am negativen Pol
$^3/_4$ Aeq. O	$^3/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_4	$^1/_4$ Aeq. H,

und durch Zerfallen von SO_4

am positiven Pol	am negativen Pol
$\frac{3}{4}$ Aeq. O	$\frac{3}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + $\frac{1}{4}$ Aeq. O	$\frac{1}{4}$ Aeq. H
$\frac{1}{4}$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O	1 Aeq. H,

ganz wie es der Versuch gezeigt hat.

Als Stütze für seine Ansicht über die Elektrolyse seiner Salze führt Daniell noch den Umstand an, daß aus einer neutralen Lösung von Kupfervitriol sich das Kupfer in einer compacten Masse am negativen Pol ausscheidet und sich dabei auf's innigste allen Gestaltungen desselben anschließt, während das Kupfer sich mehr in pulverförmigem Zustande niederschlägt, wenn die Lösung stark sauer ist.

So lange die Lösung neutral ist, wird nur $SO_4.K$ zerlegt und also nur K an der Platinode ausgeschieden, während bei einer sauren Lösung auch noch HO und SO_4H elektrolysirt wird und also am negativen Pol neben K auch noch H frei wird.

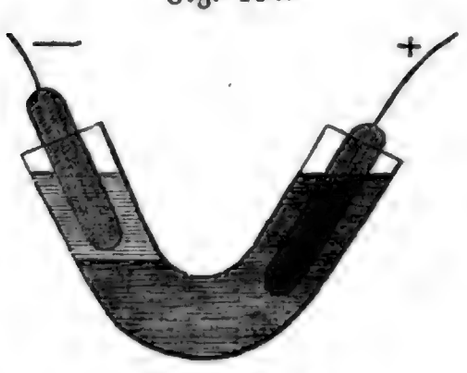
Am Schlusse seiner Abhandlung theilt der Verfasser noch einige nachträgliche Beobachtungen über Elektrolyse secundärer Verbindungen mit.

Er untersuchte kohlensaures Kali, Natron und Ammoniak und fand, daß die Kohlensäure und der Sauerstoff, welche beide als Gase am positiven Pol frei wurden, äquivalent waren dem Alkali und Wasserstoff am negativen Pol. Er betrachtet demnach auch die kohlensauren Salze als Oxycarbonione von Kalium, Natrium, Ammonium u. s. w.

Niederschläge an den Scheidewänden. In dem eben besprochenen 172
Aufsatze beschreibt Daniell noch einige weitere, sehr interessante Erscheinungen, die wir, um den Gang nicht zu unterbrechen, erst jetzt in besonderen Paragraphen betrachten wollen, nämlich: Niederschläge an den Scheidewänden und die Anhäufung der Flüssigkeit am negativen Pol.

Schon Faraday hat gefunden, daß wenn der positive Pol in einer concentrirten Lösung von Bittersalz sich befindet, der negative aber in Wasser, welches auf dem Bittersalz schwimmt (man kann den Versuch am einfachsten auf die in Fig 157 angedeutete Weise anstellen), daß alsdann bei Durchleitung eines sehr kräftigen Stromes Bittererde an der Berührungsfläche beider Flüssig-

Fig. 157.



keiten ausgeſchieden wird. Im Waſſer wandert der Sauerſtoff gegen den +Pol hin, in der Bitterſalzlöſung aber das Magneſium gegen den —Pol; wo ſich beide an der Gränzfläche der Flüſſigkeiten begegnen, verbinden ſie ſich zu Bittererde, welche ausgeſchieden wird.

Aehnliche Beobachtungen theilt nun Daniell in dem erwähnten Aufſatz mit.

Einen unten durch Blaſe verſchloſſenen Glascylinder füllte er mit verdünnter Aetzkalilöſung und ließ denſelben in ein weiteres Glas, welches concentrirte und neutrale Löſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd enthielt, ſo weit hinab, daß er ſo eben in die Löſung eintauchte. Dann tauchte er in die Kalilöſung die negative, in die Löſung des Kupfervitriols die poſitive Polplatte einer Batterie von 20 Zellen. Am negativen Pol entwickelte ſich Waſſerſtoffgas, an dem poſitiven Sauerſtoff, während die Blaſe, von der auch etwas Gas aufſtieg, ſich reichlich mit metalliſchem Kupfer bekleidete, in welches Kupferoxyd und blaues Kupferoxydhydrat eingeſprengt waren.

Dieſer Vorgang erklärt ſich ſo. Das ſchwefelſaure Kupferoxyd zerfällt in SO_4 und Cu; erſteres geht zum poſitiven Pol, letzteres, das Kupfer, wandert zur Blaſe, wird hier aufgehalten und tritt dem aus der Elektrolyſe der Kalilöſung entſpringenden Waſſerſtoff ſeine Ladung ab, der ſich nun am negativen Pole entwickelt. Andererſeits wird auch der Sauerſtoff der Kalilöſung auf ſeinem Wege gegen den poſitiven Pol durch die Blaſe aufgehalten, giebt ſeine Ladung an das dorthin wandernde SO_4 ab und verbindet ſich mit dem Kupfer, dem er an der Blaſe begegnet. Indeß iſt die Wirkung zu raſch, als daß dieſe Verbindung vollſtändig vor ſich gehen könnte, ein Theil des Kupfers ſetzt ſich metalliſch an der Blaſe ab, während ein Theil des Sauerſtoffs von ihr gasförmig aufſteigt.

In der That verſchwindet das metalliſche Kupfer um ſo mehr, je ſchwächer der Strom wird. Bei ſchwächeren Strömen bedeckte ſich die Blaſe mit einem dicken Ueberzug von Kupferoxyd, in welchem nur einige Flitterchen Kupfer ſichtbar waren.

Aus ſalpeterſaurem Silberoxyd ſchlug ſich auf die Blaſe viel Silber nieder, gemiſcht mit Silberoxyd; auch entwickelte ſich Gas an der Blaſe. An dem poſitiven Pol entwich nicht der geſammte Sauerſtoff, ſondern ein Theil deſſelben verband ſich durch ſecundäre Action mit dem Silberoxyd der Löſung zu Hyperoxyd.

Salpeterſaures Bleioxyd gab ähnliche Reſultate.

Salpeterſaures Queckſilberoxydul zeigte die auffallendſte Erſcheinung. Nicht nur lagerten ſich Queckſilberkügelchen auf der Blaſe ab, ſondern dieſe drangen fortwährend in einem feinen Regen hindurch. (Dieſer Ausdrucksweiſe zufolge iſt zu vermuthen, daß die Löſung von ſalpeter-

ſaurem Queckſilberoxydul mit dem poſitiven Pol ſich innerhalb der zugebundenen Röhre befand.)

Anhäufung von Flüſſigkeit am negativen Pol. Die Erſcheinung, daß Flüſſigkeiten unzerſetzt von der einen Elektrode zu der andern fortgeführt werden, iſt zuerſt von Porret beobachtet worden (Annals of Philosoph. Juk. 1816; P. A. XII. 618.). Er theilte ein Glas durch eine Scheidewand von thieriſcher Blaſe in zwei Zellen, füllte dieſe mit Waſſer und hing in jede eine Platinplatte, die er dann mit den Polen einer Säule von 80 Plattenpaaren verband. Dabei wurde faſt die geſammte Flüſſigkeit in die negative Zelle getrieben. Dieſe Erſcheinung fand nicht ſtatt, wenn das Waſſer durch Zuſatz von Schwefelſäure leitender gemacht wurde. 173

Daniell füllte ſeine Zerſetzungszelle mit deſtillirtem Waſſer. Bei Verbindung dieſer mit einer Batterie von 30 Zellen erſchienen nur wenig Blaſen an den Elektroden (wieder ein Fall, wo die Einſchaltung einer Tangentenbuſſole ſehr wünſchenswerth geweſen wäre), und es entwickelte ſich nichts; allein nach 40 Minuten ſtand die Flüſſigkeit an dem negativen Pol ½ Zoll höher als am poſitiven. Als er in dem Waſſer an dem poſitiven Pol etwas friſch gefälltes Eiweiß vertheilte, wurde ſichtbar eine Portion dieſer fein vertheilten Subſtanz mit dem Waſſer zu dem negativen Pol geführt.

Bei Füllung der Zelle mit einer Miſchung von 8 Theilen Waſſer und 1 Theil Schwefelſäure, trat kein Niveauunterſchied ein.

Die Erſcheinung hängt jedoch nicht vom Leitungsvermögen ab, denn ſie zeigt ſich bei gut leitenden Salzlöſungen oft noch ſtärker, als bei reinem Waſſer.

Als eine Löſung von Glauberſalz in der durch die poröſe Wand getrennten Zelle ſich befand, ſtieg die Flüſſigkeit in der negativen Zelle um 1½ Zoll, während daſelbſt 9 Kubikzoll Sauerſtoffgas frei wurden; bei phosphorſaurem Natron betrug der Höhenunterſchied 2 Zoll. Salpeterſaures Kali zeigte die Erſcheinung in weit geringerem Maaße.

Um zu ermitteln, ob bei dieſem Fortführungsproceß die ganze Flüſſigkeit fortgeführt wird, oder nur das Salz oder das Waſſer, nahm Daniell das ſpecifiſche Gewicht vor und nach dem Proceß, ohne einen merklichen Unterſchied zu finden.

Was auch die nächſte Urſache dieſer Erſcheinung ſeyn mag, ſo ſcheint ſie doch Analogie zu haben mit der Ueberführung gut leitender Subſtanzen, die bei der Bildung des Flammenbogens die Verbindung der beiden Pole unterhalten.

Daniell glaubt übrigens, daß dieſer Proceß nichts mit der Endosmoſe zu thun habe. —

174 **Elektrolyse polybasischer Salze.** Daniell hat seine Untersuchungen über Elektrolyse im Verein mit Miller auch noch auf complicirtere Fälle ausgedehnt (Phil. Transact. f. 1844 pt. I, P. A. LXIV. 18), von denen wir zunächst die Elektrolyse der verschiedenen Modificationen phosphorsaurer Salze näher betrachten wollen.

Um aber diese interessanten Erscheinungen auch Denen verständlich zu machen, welchen die Details über die Constitution der phosphorsauren Salze nicht genügend bekannt sind, will ich das Wesentlichste davon kurz auseinandersetzen, mit der Bemerkung, daß man diesen Gegenstand mit ganz besonderer Klarheit im Otto-Graham's Lehrbuch der Chemie, 2te Auflage, 2ten Bandes, 1ste Hälfte, S. 380, behandelt findet.

Die gewöhnliche Phosphorsäure PO_5 bildet drei verschiedene Natronsalze, nämlich:

$$3\,NaO,\,PO_5 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$
$$2\,NaOHO,\,PO_5 \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$
$$NaO\,2HO,\,PO_5 \quad . \quad . \quad . \quad 3),$$

von denen das zweite das gewöhnliche phosphorsaure Natron der Officinen ist; es wurde sonst das neutrale genannt, während man das erste als das basische, das letzte als das saure bezeichnete.

In Nro. 2 ist HO, in Nro. 3 aber 2HO ein wesentlicher Bestandtheil des Salzes, es vertritt die Stelle von 1 Aequivalent Basis, so daß hier also stets 1 Aeq. Säure mit 3 Aeq. Basis verbunden ist.

Setzt man der Lösung von Nro. 2 eine Auflösung von essigsaurem Blei zu, so erhält man einen Niederschlag von phosphorsaurem Bleioxyd, welches ebenfalls 3 Aeq. Basis auf 1 Aeq Säure enthält, es ist also dieser Niederschlag $3PbO,\,PO_5$.

Eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd fällt aus einer Lösung von Nro. 2 das dreibasische phosphorsaure Silberoxyd $3AgO,\,PO_5$, welches durch seine gelbe Farbe ausgezeichnet ist.

Diese Modification der Phosphorsäure, welche dadurch charakterisirt ist, daß sie immer 3 Aequivalente Basis sättigt, wird deshalb die dreibasische Phosphorsäure genannt und auch als cPhosphorsäure bezeichnet. Sind die 3 Aeq. Basis durch 3 Aeq. Wasser vertreten, so bildet diese Verbindung das cPhosphorsäurehydrat, das Phosphorsäureterhydrat oder das dreibasische phosphorsaure Wasser.

Wird das gewöhnliche phosphorsaure Natron $2NaOHO,\,PO_5$ geglüht, so wird seine Natur ganz geändert. Nach dem Wiederauflösen liefert es Krystalle eines ganz anderen Salzes, welches man zuerst pyrophosphorsaures Natron nannte. Beim Glühen ist nämlich das Aequivalent basischen Wassers ausgetrieben worden, man hat nun ein Salz, wel-

ches auf 1 Aeq. PO_5 nur 2 Aeq. Natron enthält, das neue Salz iſt $2NaO, PO_5$.

Durch Zuſatz von eſſigſaurem Bleioxyd wird zweibaſiſches phosphorſaures Bleioxyd $2PbO, PO_5$ niedergeſchlagen, welches, durch Schwefelwaſſerſtoff zerlegt, die Löſung der zweibaſiſchen Phosphorſäure oder der bPhosphorſäure liefert.

Graham betrachtet dieſe verdünnte Säure als die Löſung des Hydrats $2HO, PO_5$, welches er das Deutohydrat der Phosphorſäure nennt.

Wird dieſe Säure mit Baſen geſättigt, ſo verbinden ſich ſtets 2 Aeq. Baſis mit 1 Aeq. Säure. Das bphosphorſaure Natron giebt bei Zuſatz von ſalpeterſaurem Silber einen weißen Niederſchlag von bphosphorſaurem Silber, $2AgO, PO_5$; während das dreibaſiſche Silberſalz, wie bereits angeführt worden, eine gelbe Farbe beſitzt.

Durch Glühen des früher unter dem Namen des ſauren phosphorſauren Natrons bekannten Salzes, $NaO\,2HO, PO_5$, werden die 2 Aeq. Waſſer ausgetrieben, es bleibt das einbaſiſche phosphorſaure Natron oder das aphosphorſaure Natron NaO, PO_5; durch Zuſatz von eſſigſaurem Bleioxyd oder ſalpeterſaurem Silberoxyd erhält man die entſprechenden Blei- und Silberſalze PbO, PO_5 und AgO, PO_5. Dieſe Salze zeichnen ſich durch eine gelatinöſe Beſchaffenheit aus.

Das Hydrat der einbaſigen Phosphorſäure HO, PO_5, das aPhosphorſäurehydrat oder Phosphorſäureprotohydrat zeichnet ſich von den anderen Phosphorſäurehydraten auch dadurch aus, daß es in einer Auflöſung von Eiweiß einen weißen Niederſchlag hervorbringt.

Sowohl das a- als auch das bPhosphorſäurehydrat geht bei Erwärmung ſeiner Löſung in Waſſer in die gewöhnliche Phosphorſäure über.

Wenden wir uns nun zu den Verſuchen Daniell's und Miller's über die Elektrolyſe phosphorſaurer Salze ſelbſt.

Eine ſtarke Löſung des dreibaſiſchen phosphorſauren Natrons und Waſſers $2NaO\,HO, PO_5$ wurde in die negative, auf die andere Seite der Doppelzelle eine verdünnte Natronlöſung gebracht. Bei Hindurchleitung des Stromes einer conſtanten Batterie von 20 Bechern wurde Sauerſtoff am poſitiven, Waſſerſtoff am negativen Pole ausgeſchieden; der Strom wurde unterbrochen, nachdem 48 Kubikzoll Waſſerſtoffgas entwickelt worden waren. Die Flüſſigkeit in der Zelle des poſitiven Pols, ſorgfältig mit Salpeterſäure geſättigt, gab mit ſalpeterſaurem Silber einen reichlichen gelben Niederſchlag, es war alſo offenbar cPhosphorſäure in die poſitive Zelle übergegangen.

Gleiches Reſultat ergab ſich, als man ſtatt des Salzes $2NaO\,HO, PO_5$

die Auflösung des Salzes $3NaO, PO_5$ in die negative Zelle brachte, auch hier fand sich nach Beendigung der Elektrolyse dreibasische Phosphorsäure in den negativen Zellen.

Als dagegen in die Abtheilung des negativen Poles eine Auflösung des zweibasischen phosphorsauren Natrons $2NaO, PO_5$ gebracht wurde, fand sich nach Beendigung der Elektrolyse, daß auch bPhosphorsäure in die Natronlösung der positiven Zelle übergegangen war, denn die Flüssigkeit dieser Abtheilung gab mit Salpetersäure neutralisirt bei Zusatz von salpetersaurem Silber einen weißen Niederschlag.

Endlich wurde die Lösung des monobasischen phosphorsauren Natrons NaO, PO_5 unter gleichen Umständen elektrolysirt, mit salpetersaurem Silber gab nach Beendigung der Elektrolyse die Flüssigkeit des positiven Poles einen weißen gelatinösen Niederschlag, es war also aPhosphorsäure in die positive Zelle übergegangen.

Wir haben hier die merkwürdige Erscheinung, daß derselbe Körper PO_5 bei gleicher Zusammensetzung in verschiedenen Modificationen vorkommt, die man gewöhnlich einem allotropischen Zustande zuschreibt; PO_5 sättigt unter Umständen nur 1 oder 2 oder 3 Aequivalente Basis. Bei der Elektrolyse der phosphorsauren Salze tritt nun die Phosphorsäure an der positiven Elektrode stets in derselben Modification auf, in welcher sie in der negativen Zelle im Salz enthalten war. Aus einem dreibasischen Salz wandert die cPhosphorsäure, aus einem zweibasischen Salz die bPhosphorsäure, aus einem einbasischen Salz die aPhosphorsäure zur positiven Elektrode über.

Die Ansicht, welche Daniell durch seine Versuche über Elektrolyse von der Constitution der Salze gewonnen hat, und welche wir im Paragraph 171 kennen lernten, stimmt mit den eben besprochenen Eigenthümlichkeiten und dem elektrolytischen Verhalten der phosphorsauren Salze ganz gut überein. Nach dieser Theorie muß man betrachten

$3NaO, PO_5$ als $Na_3 + PO_8$ Natrium-Tritoryphosphion,
$2NaO, PO_5$ als $Na_2 + PO_7$ Natrium-Deutoryphosphion,
NaO, PO_5 als $Na + PO_6$ Natrium-Protoryphosphion.

Bei der Elektrolyse von Natrium-Tritoryphosphion wird Na_3 an dem negativen Pol ausgeschieden, während PO_8 zum positiven wandert. Indem sich die 3 Aeq. Na oxydiren, werden am positiven Pole 3 Aeq. H entwickelt, während am anderen Pol 3 Aeq. H zu PO_8 treten, um $H_3 + PO_8$, das heißt das Ter- oder Tritohydrat, zu bilden, wobei denn natürlich 3 Aeq. Sauerstoff am positiven Pol entweichen müssen.

Bei der Elektrolyse des Natrium-Deutoryphosphions wandert PO_7 zum positiven Pol und entwickelt 2 Aeq. Sauerstoff, indem es sich mit H_2 zu $H_2 + PO_7$, d. h. zum Deutohydrat, verbindet, während am an-

deren Pol 2 Aeq. Natron gebildet und 2 Aeq. Waſſerſtoff entwickelt werden.

Bei der Elektrolyſe des monobaſiſchen Salzes wandert PO_6 zum poſitiven Pol und bildet das Protohydrat $H + PO_6$.

Elektrolyſe arſenigſaurer und ſchwefligſaurer Salze. Die engliſchen Phyſiker wandten ſich nun zur Elektrolyſe von Salzen, deren Säuren auf einer niedrigeren Oxydationsſtufe ſtehen, als die bisher betrachteten. 175

In die negative Zelle wurde eine Löſung von arſenigſaurem Kali ($KO + AsO_3$) in die poſitive Zelle Kalilöſung gebracht. Am poſitiven Pol wurde Sauerſtoff entwickelt, am negativen aber erſchien kein Waſſerſtoff, ſondern er bedeckte ſich mit metalliſchem Arſenik. Durch die Elektrolyſe war, nach Daniell's Anſicht, in der negativen Zelle K ausgeſchieden worden, welches durch ſeine Oxydation Arſenik reducirte; AsO_4 war in die poſitive Zelle gewandert, 1 Aeq. Sauerſtoff wurde frei, die zurückbleibende arſenige Säure bildete mit dem vorhandenen Kali arſenigſaures Kali.

Schwefligſaures Kali ($KO + SO_2$) in beiden Zellen gab Waſſerſtoff an der negativen, aber kein Sauerſtoff an der poſitiven Polplatte, dagegen bildete ſich Schwefelſäure in der poſitiven Zelle, welche durch ihre Einwirkung auf das ſchwefligſaure Salz auch etwas ſchweflige Säure entwickelte. Durch den Strom wurde auf der einen Seite K ausgeſchieden und durch deſſen Oxydation Waſſerſtoff entwickelt; $SO_2 + O$, welches Daniell als Suboxyſulphion bezeichnet, wanderte nach der anderen Seite und trat dort als SO_3 auf.

Unterſchwefligſaures Natron ($NaO + S_2O_2$) gab einen ähnlichen Erfolg. Am negativen Pol entwickelten ſich Waſſerſtoff, am poſitiven kein Gas, doch machte ſich hier ein ſtarker Geruch nach ſchwefliger Säure geltend, welcher von einer allmäligen Ablagerung von Schwefel begleitet war. $S_2O_2 + O$ wandert nach dem poſitiven Pol, zerfällt in $S + SO_3$, und durch die Einwirkung der Schwefelſäure auf das umgebende Salz wird ſchweflige Säure entwickelt.

Die Verſuche über die Elektrolyſe des gelben und rothen Cyaneiſenkaliums können wir hier nicht näher beſprechen.

Ueberführung der Baſen. Bei der Elektrolyſe der phosphorſauren Salze war die Säure in die poſitive mit Natronlöſung gefüllte Zelle übergeführt worden. Daniell wollte nun verſuchen, umgekehrt, aus der poſitiven Zelle die Baſen in die mit Säure gefüllte negative Zelle überzuführen. 176

Bei Anwendung einer Löſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd-Kali $CuO.SO_3 + KO.SO_3$ wurden nur Spuren von Kupfer in die negative Zelle übergeführt und an dem negativen Pole abgelagert, dagegen ergab ſich nach Unterbrechung des Verſuchs, daß im Vergleich zu den entwickelten Gaſen $\frac{1}{4}$ Aeq. Kali in die negative Zelle übergetreten war.

Eine Löſung von ſchwefelſaurem Thonerde-Kali (Alaun, $Al_2O_3.3SO_3 + KO.SO_3$) gab ähnliche Reſultate, es war Kali in demſelben Verhältniß, wie im vorigen Verſuch, zur negativen Zelle übergangen, aber keine Thonerde.

Aus einer Löſung von ſchwefelſaurem Bittererde-Kali ($MgO.SO_3 + KO.SO_3$) war ebenfalls nur Kali nebſt einer ſehr unbedeutenden Menge von Bittererde übergegangen.

Statt der Doppelſalze wurden nun der Reihe nach die Löſung von ſchwefelſaurer Thonerde ($Al_2O_3.3SO_3$), ſchwefelſaurem Eiſenoxyd ($Fe_2O_3.3SO_3$) und Kupfervitriol ($CuO.SO_3$) in die poſitive Zelle, in die negative aber verdünnte Schwefelſäure gebracht. Weder Thonerde, noch Eiſenoxyd, noch Kupferoxyd gingen in merklicher Menge in die negative Zelle über.

Beide Zellen wurden mit einer Löſung von Kupfervitriol gefüllt. Am negativen Pol ſchlug ſich Kupfer nieder, die Löſung wurde an Kupfer ärmer; in die andere Zelle war 1 Aeq. Schwefelſäure übergegangen, aber der Kupfergehalt unverändert geblieben; es war alſo kein Kupfer von der poſitiven Zelle in die negative übergegangen.

Zinkvitriol verhielt ſich eben ſo.

Dieſe Erſcheinung iſt aber nicht etwa dem Einfluß der Scheidewand zuzuſchreiben. Als ein langes Rohr mit aufrechten Schenkeln mit Kupfervitriollöſung gefüllt wurde und an den Enden zwei Kupferſtreifen als Elektroden eingetaucht wurden, ward die Flüſſigkeit im negativen Schenkel heller, im poſitiven aber dunkler.

Sonach, ſagt Daniell, ſcheint es feſtgeſtellt, daß bei der Elektrolyſe derjenigen Metalle, welche bei gewöhnlicher Temperatur das Waſſer zerſetzen oder deren Oxyde ſehr löslich im Waſſer ſind, der Fortführung in der Volta'ſchen Kette vom poſitiven zum negativen Pol fähig ſind, während diejenigen, welche keine ſo ſtarke Verwandtſchaft zum Sauerſtoff beſitzen, ihren Ort behaupten.

Bei unbefangener Betrachtung des Umſtandes, daß gewiſſe Baſen bei der Elektrolyſe der Löſungen ihre Salze nicht nach dem negativen Pol hin wandern, drängt ſich ſogleich die Anſicht auf, daß in dieſem Fall nicht das Salz direct elektrolyſirt werde und den Strom leite, ſondern daß ſeine Zerlegung nur eine ſecundäre Erſcheinung ſey. Wenn an der nega-

tiven Polplatte aus einer Löſung von Kupfervitriol metalliſches Kupfer niedergeſchlagen wird, ohne daß Kupfer von der anderen Seite herüberwandert, während doch 1 Aeq. Schwefelſäure zum poſitiven Pol geht, ſo läßt ſich dies kaum anders erklären, als daß direct SO_4H elektrolyſirt werde; H wandert zum negativen Pol und reducirt dort 1 Aeq. Kupfer, SO_4 geht zum poſitiven, entwickelt 1 Aeq. O mit Zurücklaſſung von 1 Aequivalent SO_3. Das ſtimmt nun freilich nicht mit den Daniell'ſchen Anſichten überein, welche wir ſchon im Paragraph kennen lernten, die jedoch auf alle Fälle anwendbar iſt, wo die Baſis des zerlegten Salzes ebenfalls eine Ueberführung erleidet, wie z. B. bei der Elektrolyſe von $KO + SO_3$.

Becquerel's Unterſuchungen über die Geſetze der elektrochemiſchen Zerſetzung. 177 Auch der jüngere Becquerel hat intereſſante Unterſuchungen über die Geſetze der Elektrolyſe angeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Sér. III, T. XI, p. 162 und 257, im Auszug in Pogg. Ann. LXV, 461). Faraday hatte den Grundſatz aufgeſtellt, daß unter den verſchiedenen Verbindungen, die zwei Elemente mit einander eingehen können, nur diejenigen durch den Strom zerſetzt werden, die aus gleich viel Aequivalenten von jedem beſtehen.

Schon Matteucci hat es wahrſcheinlich gemacht (Bibl. univers. Sér. nouv. T. XXI, p. 153), daß dieſer Satz nicht allgemein gültig ſey, und Becquerel hat es durch zahlreiche Verſuche außer Zweifel geſetzt.

Zunächſt unterſuchte Becquerel mehrere Chlormetalle, und zwar bald in geſchmolzenem Zuſtande, bald als geſättigte wäſſerige Löſung. Bei Anwendung der geſchmolzenen Chlormetalle wirkt beſonders der Umſtand auf die Genauigkeit des Reſultates ſtörend ein, daß das am poſitiven Pol ausgeſchiedene Chlor, in der Flüſſigkeit ſich verbreitend, das am negativen Pol niedergeſchlagene Metall theilweiſe wieder auflöſte, ſo daß man immer etwas zu wenig Metall erhielt. Deshalb wandte Becquerel meiſt die Chlormetalle, in einer ſchicklichen Flüſſigkeit gelöſt, an, nachdem er ſich überzeugt hatte, daß aus ihnen ſtets gleich viel Metall niedergeſchlagen wird, wie aus der geſchmolzenen Chlorverbindung, und daß auch bei dieſen Löſungen nur das Chlormetall, nicht das Waſſer elektrolyſirt werde, denn es entwickelte ſich am poſitiven Pol ſtets Chlor und nicht Sauerſtoff, wie es hätte der Fall ſeyn müſſen, wenn auch nur theilweiſe das Waſſer wäre elektrolyſirt worden.

Die zu unterſuchende Löſung befand ſich in zwei durch einen Heber verbundenen Gefäßen, deren jedes eine Elektrode aufnahm. Die negative Elektrode war gewöhnlich von Platin, die poſitive bald von dieſem bald von jenem Metall.

War die Lösung von der Art, daß sie durch die Luft eine Zersetzung erlitt, so stand sie unter einer Glocke mit Hahn, die ausgepumpt oder mit einem unschädlichen Gas gefüllt werden konnte.

Außer diesem Zersetzungsapparat war ein Voltometer in die Bahn des Stromes eingeschaltet, der gewöhnlich durch eine Batterie von 30 schwach geladenen Elementen hervorgebracht war.

Folgende Tabelle giebt die Resultate einer ersten Versuchsreihe.

	Gelöst in	Zersetztes Wasser Milligramm	Gefälltes Metall	
			berechnet	gefunden
			Milligramm	
Zinnchlorür . . Sn Cl	Wasser	3,81	24,9	25,0
Chlorsilber . . Ag Cl	Ammoniak	1,29	15,5	16,5
Eisenchlorür . . Fe Cl	Wasser	1,5	4,6	5,0
Kupferchlorür . . Cu_2 Cl	Salzsäure	1,93	6,78	13,5
Antimonchlorid . Sb_2 Cl_3	desgl.	11,0	78,8	51,5
desgl. 2ter Versuch . .	desgl.	1,29	9,2	6,0

Die dritte Columne giebt die Quantität des im Voltameter zersetzten Wassers an, in der vierten Columne findet man, wie viel Metall an der negativen Elektrode des Zersetzungsapparates hätte niedergeschlagen werden müssen, wenn für jedes Aequivalent im Voltameter zersetzten Wassers hier 1 Aeq. Metall ausgeschieden würde; die fünfte Columne endlich giebt die wirklich niedergeschlagenen Metallmengen an.

In den drei ersten Fällen wurde wirklich für 1 Aeq. Wasser, welches im Voltameter zersetzt wurde, auch 1 Aeq. Metall an der negativen Polplatte des Zersetzungsapparates niedergeschlagen; in allen den drei Fällen bestanden aber auch die elektrolysirten Chlormetalle aus 1 Aeq. Metall auf 1 Aeq. Chlor.

Das Kupferchlorür enthält 2 Aeq. Kupfer auf 1 Aeq. Chlor, und in diesem Falle wurden auch im Vergleich zu dem im Voltameter zersetzten Wasser 2 Aeq. Kupfer im Zersetzungsapparat niedergeschlagen.

Aus dem Antimonchlorid wurden nur $^2/_3$ Aequivalent Antimon entwickelt, und in der That enthält es auch nur $^2/_3$ Aeq. Metall auf 1 Aequivalent Chlor.

Berechnet man die zum positiven Pol des Zersetzungsapparates ge-

führte Menge Chlor, ſo ergiebt ſich, daß gegen jedes Aequivalent zerſetzten Waſſers auch 1 Aeq. Chlor entwickelt wurde.

Dieſes Geſetz erhielt eine fernere Beſtätigung durch eine weitere Verſuchsreihe, in welcher nicht das gefällte Metall, ſondern das ausgeſchiedene Chlor beſtimmt ward, und zwar durch den Verluſt, welchen die aus Kupfer beſtehende Elektrode erlitt. Auf dieſe Weiſe wurde verfahren mit

Kupferchlorid . .	$CuCl$
Eiſenchlorid . . .	Fe_2Cl_3
Zinnchlorid . . .	$SnCl_2$
Antimonhyperchlorid	Sb_2Cl_5.

Das in der Vorausſetzung einer Aequivalenz mit dem Waſſer berechnete Chlor ſtimmt hier in allen Fällen mit dem beobachteten überein, obgleich nur eine dieſer Verbindungen, nämlich $CuCl$, zu gleichen Aequivalenten aus den Beſtandtheilen zuſammengeſetzt iſt.

Jod- und Brommetalle führten zu demſelben Reſultat.

Auch mit Oxyden ſtellte Becquerel Verſuche an. Er löſte Kupferoxydul Cu_2O und Kupferoxyd CuO, jedes für ſich, in Ammoniakflüſſigkeit und verſchloß die Flaſche luftdicht mittelſt eines Korkes, welcher die Drähte der Elektroden hindurch ließ. Zugleich mit einer dieſer Löſungen war in den Kreis der Kette, die nur aus einem conſtanten Zinkkupfer-Element beſtand, eine Löſung von ſalpeterſaurem Kupferoxyd eingeſchaltet, die als Voltameter diente. Dieſe Verſuche, deren jeder mehrere Stunden dauerte, gaben das Reſultat, daß auf 1 Aeq. Kupfer, welches ſich an der negativen Polplatte des mit ſalpeterſaurem Kupferoxyd gefüllten Voltameters ausſchied,

2 Aeq. Kupfer aus der Löſung von Cu_2O
1 » » » » » » CuO

niedergeſchlagen wurde.

Die letzte binäre Verbindung, welche Becquerel unterſuchte, war das oxydirte Waſſer HO_2. Auf jedes Aequivalent Waſſer, welches in dem gleichzeitig in den Strom eingeſchalteten Voltameter zerſetzt wurde, wurden 2 Aeq. Sauerſtoff aus dem oxydirten Waſſer am poſitiven Pole frei.

Die Unterſuchung der Elektrolyſe verſchiedener Salzlöſungen führte im Weſentlichen zu ähnlichen Reſultaten, wie wir ſie ſchon aus den Arbeiten von Daniell kennen lernten.

Der von Faraday aufgeſtellte Satz, daß binäre Verbindungen nur dann Elektrolyte ſind, wenn ſie aus gleichen Aequivalenten beider Beſtandtheile zuſammengeſetzt ſind, hat ſich demnach als unhaltbar erwieſen, indem viele Körper direct durch den Strom zerlegbar ſind, welche dieſer Bedingung nicht entſprechen.

In Beziehung auf die Quantität der Zersetzung kann man das Resultat der Becquerel'schen Untersuchung am besten so ausdrücken, wie es Poggendorff in einer Anmerkung zum Becquerel'schen Aufsatz formulirt hat: daß bei Gleichheit der Stromstärke für jedes Aequivalent Wasser auch ein Aequivalent irgend welcher Verbindung zersetzt wird, sobald dieselbe überhaupt zersetzbar ist.

178 **Bildung von Chlorstickstoff durch Elektrolyse.** Wenn man eine gesättigte Auflösung von Salmiak zwischen Platinelektroden dem galvanischen Strom aussetzt, so entwickelt sich am negativen Pol Wasserstoffgas; am positiven Pol aber kein Chlor, und wenn die Lösung concentrirt genug ist, auch kein Sauerstoffgas; dagegen bedeckt sich die positive Platinplatte mit kleinen gelblichen öligen Tropfen von Chlorstickstoff.

Gießt man auf die Lösung eine Schicht Terpentinöl, so explodiren die aufsteigenden Tröpfchen, sobald sie mit dem Terpentinöl in Berührung kommen, unter Knall und Lichterscheinung. — Es ist zweckmäßig, die positive Polplatte nicht vertical, sondern geneigt in die Flüssigkeit zu stellen.

Diese interessante Erscheinung ist, ohne daß einer vom andern etwas wußte, fast gleichzeitig von Kolbe, welcher sich damals in England aufhielt, und von Böttger in Frankfurt entdeckt worden. Kolbe beschreibt die Bildung von Chlorstickstoff durch die Elektrolyse einer gesättigten Salmiaklösung im Philos. Magaz. XXX, Seite 336. Böttger, welcher meines Wissens darüber nichts publicirt hat, zeigte den Versuch im Gießener Laboratorium.

Die Bildung des Chlorstickstoffs ist offenbar eine secundäre Wirkung. Betrachten wir den Salmiak als Chlorammonium H_4NCl, so wird dieser Körper so zerlegt, daß Cl an den positiven, H_4N an den negativen Pol tritt. Aus H_4N entwickelt sich 1 Aeq. Wasserstoff, welcher gasförmig entweicht unter Zurücklassung von H_3N, während das am positiven Pol nascirende Chlor das Chlorammonium unter Bildung von Chlorstickstoff und Salzsäure zersetzt. Wenn nämlich zu Chlorammonium H_4NCl 6 Aeq. Chlor, also 6 Cl hinzutreten, so bildet sich 4 HCl (4 Aeq. Salzsäure) und Chlorstickstoff, NCl_3.

179 **Oxydationswirkungen des am positiven Pol der Kette ausgeschiedenen Sauerstoffs.** Der Sauerstoff, welcher durch den galvanischen Strom an der positiven Polplatte ausgeschieden wird, hat im Augenblicke seiner Entstehung sehr stark oxydirende Eigenschaften, so daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerstoff sonst nicht direct eingeht. Kolbe hat über diesen Gegenstand interessante und wichtige Versuche angestellt.

Eine geſättigte wäſſerige Löſung von Chlorkalium wird durch den Strom einer aus 4 Bunſen'ſchen Bechern gebildeten Säule zwiſchen Platinelektroden in der Weiſe zerſetzt, daß ſich zuerſt Chlorgas am poſitiven, Waſſerſtoff am negativen Pol ausſcheidet und freies Kali gebildet wird, wovon die Flüſſigkeit eine alkaliſche Reaction annimmt. In dem Maaße, als bei fortſchreitender Zerſetzung die Flüſſigkeit an Chlorkalium ärmer wird, erſtreckt ſich die Elektrolyſe zugleich auch auf das Waſſer, indem am poſitiven Pol neben dem Chlor gleichzeitig Sauerſtoff frei wird, welcher zum Theil gasförmig entweicht, zum Theil ſich chemiſch mit dem Chlor erſt zu unterchloriger Säure (ClO), zuletzt zu Chlorſäure (ClO_5) verbindet, die in der alkaliſchen Löſung ſich an Kali gebunden finden.

Die Bildung des chlorſauren Kali's kann unter dieſen Umſtänden allerdings als das Reſultat der Einwirkung des Chlors auf das freie Kali betrachtet werden.

Der nämliche Zerſetzungsproceß findet aber auch ſtatt, wenn man der Löſung des Chlorkaliums ſelbſt noch mehr Schwefelſäure zuſetzt, als dem Aequivalent des Kaliums entſpricht, ſo daß kein freies Alkali auftreten kann, mit dem einzigen Unterſchiede, daß ſich dabei überchlorſaures Kali ($KO . ClO_7$) bildet, welches beim Erkalten aus der ſich erhitzenden Flüſſigkeit gewöhnlich herauskryſtalliſirt.

Endlich liefert auch reine Salzſäure, beſonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelſäure zugeſetzt ſind, ein Gemenge von freier Chlorſäure und Ueberchlorſäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pol und Waſſerſtoff am — Pol in Maſſe entweichen. Hieraus geht hervor, daß ſich Chlor und Sauerſtoff im status nascens auch ohne Gegenwart von freiem Alkali direct mit einander vereinigen, während man bisher gewohnt war, die ſogenannte prädisponirende Verwandtſchaft als weſentliche Bedingung zu ihrer Bildung (beim Durchleiten von Chlor durch Kalilauge) anzuſehen.

Cyankaliumlöſung wird unter den obigen Verhältniſſen leicht oxydirt und liefert cyanſaures Kali ($KO . CyO$). Eine der Chlorſäure oder Ueberchlorſäure entſprechende höhere Oxydationsſtufe des Cyans konnte Kolbe bei fortgeſetzter Elektrolyſe des cyanſauren Kali's nicht erhalten. Ebenſo wenig lieferte eine Löſung von Fluorkalium eine Sauerſtoffverbindung des Fluors.

Mittelſt des Stromes iſt es Kolbe auch gelungen, aus der Chlorkohlenunterſchwefelſäure, $HO + C_2Cl_3S_2O_5$ (Liebig's Annalen, Bd. 54, S. 157; Philos. Magaz. XXX. 334.) Oxydationsproducte zu erhalten, während dieſe Säure ſonſt den kräftigſten Oxydationsmitteln widerſteht,

indem sie mit Chromsäure, Salpetersäure u. s. w. gekocht, keine Veränderung erleidet.

Wenn eine concentrirte Auflösung von chlorkohlenunterschwefelsaurem Kali zwischen Platinelektroden dem Strom einer Bunsen'schen Säule von 4 Bechern ausgesetzt wird, so beobachtet man anfangs am negativen Pole keine Entwickelung von Wasserstoffgas, während Chlor, Kohlensäure und später auch Sauerstoff am positiven Pole aufsteigen.

Sobald die Zersetzung beginnt, wird eine saure Reaction in der Flüssigkeit bemerklich, welche von der Bildung freier Salzsäure und Schwefelsäure herrührt. In einer späteren Periode, wenn diese Säuren an Menge zugenommen haben, erscheint Wasserstoff am negativen Pole, während endlich, nachdem alle Salzsäure zersetzt ist und die Chlorentwickelung aufgehört hat, überchlorsaures Kali in kleinen octaedrischen Krystallen sich aus der Flüssigkeit ausscheidet, welche noch freie Schwefelsäure und doppeltschwefelsaures Kali enthält.

Diese Resultate erklären sich nun folgendermaßen. Der Sauerstoff, welcher in Folge der Wasserzersetzung am positiven Pole frei wird, tritt an die Säure und bewirkt, daß sie in verschiedene Verbindungen zerfällt. Die Oxydation der Säure ist vollendet, wenn sie 12 Aequivalente Sauerstoff aufgenommen hat, in diesem Falle aber erklärt sich ihr Zerfallen in folgender Weise:

$$\left.\begin{array}{r} KO + C_2 Cl_3 S_2 O_5 \\ 12\,O \end{array}\right\} \begin{array}{l} KO + ClO_7 \\ 2\,SO_3 \\ 2\,CO_2 \\ 2\,Cl. \end{array}$$

Es bildet sich also überchlorsaures Kali, Schwefelsäure, Kohlensäure und freies Chlor. Die Bildung der Ueberchlorsäure findet jedoch nicht gleich zu Anfang der Elektrolyse statt, indem Anfangs nur Chlorsäure entsteht. Dampft man bei einem früheren Stadium der Zersetzung, bevor noch die octaedrischen Krystalle des überchlorsauren Kalis auszukrystallisiren anfangen, die Flüssigkeit ein, so erhält man die wohlbekannten rhombischen Tafeln des chlorsauren Kalis.

Während der am positiven Pol entwickelte Sauerstoff diese Oxydationswirkungen hervorbringt, entweicht aber auch am negativen Pol kein Gas, indem der hier auftretende Wasserstoff ebenfalls mehrere Verbindungen eingeht. Ein Theil dieses Wasserstoffs substituirt nämlich 1 oder 2 Aequivalente Chlor und bildet die Säuren $HO + \left(C_2 \left\{\begin{matrix} H \\ Cl_2 \end{matrix}\right.\right) S_2 O_5$, Chlorformylunterschwefelsäure, und $HO + \left(C_2 \left\{\begin{matrix} H_2 \\ Cl \end{matrix}\right.\right) S_2 O_5$, Chlorelaylunterschwefelsäure, zwei Säuren, welche Kolbe gleichfalls im 54. Bande von Liebig's Annalen näher bespricht; ein anderer Theil des Wasserstoffs verbindet sich mit dem ausgeschiedenen Chlor zu Salz-

säure. Diese Säuren werden aber am positiven Pole gleichfalls oxydirt, und so geht dieser Oxydationsproceß fort, bis alles Chlor der Flüssigkeit theils in Ueberchlorsäure verwandelt theils entwichen ist.

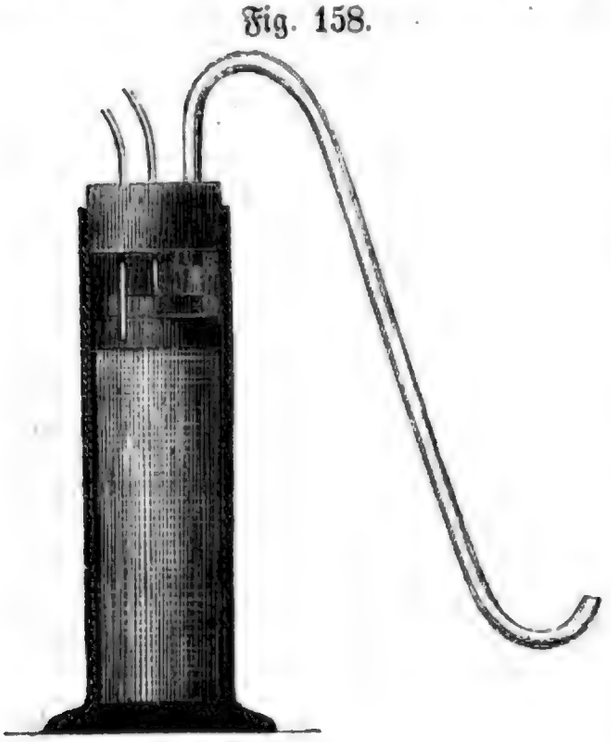
Die eben besprochenen Zersetzungserscheinungen lassen sich nun durch die Annahme erklären, daß die Wasserzersetzung die primäre, die Oxydation der Säure die secundäre Wirkung sey. Die Daniell'sche Theorie über die Elektrolyse der Salzlösungen ist hier durchaus unanwendbar. Nach dieser Theorie müßte man das Salz betrachten als $K + (C_2Cl_3)\,S_2O_6$; die am positiven Pole ausgeschiedene saure Verbindung müßte zerfallen in 2 Aequivalente Schwefelsäure und in das unlösliche Kohlensesquichlorid C_2Cl_3. — Die Oxydation des Chlors erfordert durchaus die Annahme einer primären Wasserzersetzung.

Elektrolyse der Valeriansäure und der Essigsäure. Kolbe hat 180
dadurch, daß er organische Substanzen der Elektrolyse unterwarf und den Gang der Zersetzungen genau verfolgte, einen Weg betreten, welcher für die Wissenschaft von großer Bedeutung zu werden verspricht. Wir wollen hier die Untersuchungen Kolbe's so weit verfolgen, als es zur Erkenntniß der elektrolytischen Seite der Erscheinungen nöthig ist, ohne jedoch auf die Discussionen über die Constitution der untersuchten organischen Substanzen uns einzulassen.

Die ausführliche Abhandlung, in welcher Kolbe die Elektrolyse organischer Verbindungen behandelt, findet sich in den Annalen der Chemie und Pharmacie, Band LXIX. Seite 257.

Da die freie Valeriansäure den galvanischen Strom schlecht leitet, so bediente sich Kolbe zur elektrolytischen Zersetzung derselben einer concentrirten wässerigen Lösung ihres Kalisalzes. Der Zersetzungsapparat war ungefähr so eingerichtet, wie der Fig. 158 abgebildete. Der Glascylinder war ungefähr 11 Zoll hoch und $2\frac{1}{2}$ Zoll weit. Der äußere Metallcylinder ist von Kupfer-, der innere von Platinblech. Der Kupfercylinder wurde mit dem negativen, der Platincylinder mit dem positiven Pol einer aus 4 Bunsen'schen Bechern bestehenden Säule verbunden.

Fig. 158.



Wenn dieſer Apparat mit einer Löſung von valerianſaurem Kali, $KO + (C_8H_9)C_2O_3$, gefüllt iſt und der Strom in der angedeuteten Weiſe durch die Flüſſigkeit hindurchgeht, ſo findet an beiden Polen eine lebhafte Gasentwickelung ſtatt, und gleichzeitig ſcheiden ſich auf der Oberfläche der Flüſſigkeit leichte, in der Regel ſchwach gelblich gefärbte, ölartige Tropfen von angenehmem ätheriſchen Geruche ab. Die entweichenden ſtark riechenden Gaſe enthalten, nachdem alle atmoſphäriſche Luft aus dem Apparate verdrängt iſt, keine Spur von Sauerſtoff. Das Gasgemiſch beſteht aus Waſſerſtoff, Kohlenſäure und einem dritten Gaſe, welches mit ſtark leuchtender Flamme brennt und dem Gemiſch den eigenthümlichen Geruch verleiht.

Nach Stunden lang fortgeſetzter Einwirkung des Stromes iſt die auf der Flüſſigkeit ſich anſammelnde Oelſchicht bis zu einer Höhe von mehreren Linien angewachſen und das valerianſaure Kali zum größten Theil in ein Gemenge von einfach- und zweifachkohlenſaurem Kali verwandelt, welches letztere gewöhnlich am Ende der Zerſetzung theilweiſe herauskryſtalliſirt. Um zu erfahren, an welchem Pole jedes dieſer Producte auftritt, brachte Kolbe die Platinplatte in eine poröſe Thonzelle, die oben luftdicht geſchloſſen und mit einem Gasentbindungsrohre verſehen war. Dieſe Zelle, mit valerianſaurem Kali gefüllt, wurde in ein gleichfalls eine Löſung dieſes Salzes enthaltendes Glasgefäß geſetzt, in welchem ſich der als negativer Pol dienende Kupfercylinder befand. Es ergab ſich auf dieſe Weiſe, daß von den genannten Zerſetzungsproducten außer freiem Kali nur Waſſerſtoff auftrat, während alle übrigen Producte, das ätheriſche Oel, die Kohlenſäure und die riechende Gasart neben freier Säure (die Anordnung des Apparates verhinderte die Bildung von kohlenſaurem Kali) am poſitiven Pole erſchienen.

Kolbe ging nun zu einer gründlichen Unterſuchung der einzelnen Zerſetzungsproducte über. Zuerſt behandelte er die ölartige Flüſſigkeit. Es zeigte ſich bald, daß das rohe Oel kein reiner Körper iſt. Durch ein Verfahren, welches hier nicht näher beſchrieben werden kann, ermittelte er, daß das rohe Oel ein Gemiſch aus zwei verſchiedenen Körpern iſt. Das gereinigte Oel, welches dem Volumen nach ungefähr die Hälfte des rohen ausmacht, bildet eine klare, farbloſe Flüſſigkeit von ſehr angenehmem ätherartigen Geruch, und fadem hintennach brennendem Geſchmack. Es iſt in Alkohol und Aether, aber nicht in Waſſer löslich, ſiedet bei 108°, iſt ſehr entzündlich und hat ein auffallend niedriges ſpecifiſches Gewicht, nämlich 0,694.

Die chemiſche Formel dieſes Körpers, welchen Kolbe Valyl nennt, iſt C_8H_9, d. h. er beſteht aus 8 Aequivalenten Kohlenſtoff und 9 Aequivalenten Waſſerſtoff.

Das rohe Oel iſt Valyl, verunreinigt durch valerianſaures Valyloxyd, alſo Valyl gemiſcht mit $C_8H_9O + (C_8H_9)C_2O_3$.

Das riechende Gas, welches mit der Kohlenſäure entweicht, iſt ebenfalls ein Kohlenwaſſerſtoff und zwar C_8H_8, alſo gleich zuſammengeſetzt mit dem ölbildenden Gas, mit dem es in ſeinem Verhalten gegen Chlor viele Aehnlichkeit hat, aber von doppelt ſo großem ſpecifiſchen Gewichte.

Der ganze Hergang dieſer Zerſetzungen läßt ſich nun leicht überſehen. Durch den in Folge der Elektrolyſe am poſitiven Pole entwickelten Sauerſtoff wird die Valerianſäure $(C_8H_9)C_2O_3$ oxydirt und zerfällt in Valyl C_8H_9 und Kohlenſäure C_2O_4, oder vielmehr allein das Valyl ſelbſt unterliegt wieder einer theilweiſen Oxydation, es bildet ſich Valyloxyd C_8H_9O, welches mit Valerianſäure ſich verbindet und, mit dem übrigen bleibenden Valyl gemiſcht, das rohe Oel bildet. Außerdem macht ſich noch ein ſecundärer Oxydationsproceß des Valyls dadurch geltend, daß der nascirende Sauerſtoff ihm 1 Aequivalent Waſſerſtoff entzieht, um mit demſelben Waſſer zu bilden, wodurch denn der dem ölbildenden Gaſe homologe Körper C_8H_8 entſteht, welcher mit der Kohlenſäure am +Pol entweicht.

Ganz analoge Zerſetzungen erleidet die Eſſigſäure durch den Einfluß des galvaniſchen Stromes. Da die Eſſigſäure zu ſchlecht leitet, ſo unterwarf Kolbe gleichfalls das Kaliſalz derſelben der Unterſuchung. Die Eſſigſäure $(C_2H_3)C_2O_3$ erleidet ganz in der Art, wie wir es bei der Valerianſäure geſehen haben, am +Pol eine Oxydation, in Folge deren ſie in Methyl, C_2H_3, und Kohlenſäure, C_2O_4, oder vielmehr $2CO_2$ zerfällt, welche Körper beide am +Pol gasförmig entweichen, während das Waſſerſtoffäquivalent, welches dem am poſitiven Pol oxydirenden Sauerſtoff entſpricht, am —Pol aufſteigt. Denken wir uns die reine Eſſigſäure mit 1 Aequivalent Waſſer verbunden, ſo erklärt ſich der Hergang durch die Elektrolyſe des Waſſeräquivalentes und die daraus erfolgende Oxydation der Säure ganz einfach durch folgende Gleichung:

$$HO + (C_2H_3)C_2O_3 = \begin{cases} H.... \text{ 2 Volum} \\ C_2H_3 \text{ 2 Volum} \\ 2CO_2 \text{ 4 Volum.} \end{cases}$$

Die Unterſuchung der aufgefangenen Gaſe zeigt aber, daß im Vergleich zu dem Methylgas mehr Waſſerſtoff und mehr Kohlenſäure in dem Gasgemenge enthalten iſt. Dieſe Abweichung läßt ſich aber auch leicht erklären.

So wie es die obige Gleichung andeutet, würde der Vorgang ſeyn, wenn nur das eine Waſſeräquivalent elektrolyſirt würde; allein die Elektrolyſe erſtreckt ſich auch noch auf einen andern Theil des Waſſers der Löſung, dadurch wird einerſeits die Menge des Waſſerſtoffs vermehrt, andererſeits ein Theil des Methylgaſes zu Kohlenſäure und Waſſer oxydirt, ſo daß alſo auch verhältnißmäßig mehr Kohle gebildet wird. Auch enthält das Methylgas ſtets eine geringe Beimengung von Methyloxyd.

181 **Galvanoplastik.** Nachdem bereits im September 1836 de la Rive (Philosophical Magazine, Dingler, 105. Bd.) darauf aufmerksam gemacht hatte, daß das in der Daniell'schen Kette niedergeschlagene Kupfer von dem Kupfer der Kette ablösbar und ein mikroskopisch genauer Abdruck desselben sey, so kamen Jakobi und Spencer, wie es scheint, fast gleichzeitig auf den Gedanken, dieses praktisch nutzbar zu machen, was denn auch bekanntlich den entschiedensten Erfolg hatte.

Jakobi setzte wirklich zuerst 1839 eine Daniell'sche Kette zusammen, in welcher eine gravirte Kupferplatte angewendet wurde, machte jedoch sogleich auch Versuche in einer abgesonderten Zersetzungszelle, wo er als Anode der gestochenen Kupferplatte eine andere gegenüber anbrachte, wodurch er die Kupfervitriollösung stets gesättigt erhielt *). Er fand auch sogleich, daß etwas angesäuerte Kupfervitriollösung wirksamer sey, und daß sich das Kupfer pulverig ausscheide, wenn der Strom zu stark werde; er bemerkte, es dürfe im Allgemeinen nicht über 50 — 60 Gran Kupfer pro Quadratzoll in 24 Stunden reducirt werden, wenn es compact werden soll. Zur bessern Beurtheilung der Stromstärke schaltete er eine ganz einfache Bussole ein. Jakobi gab bald darauf eine eigene Schrift hierüber heraus unter dem Titel: »die Galvanoplastik«, Petersburg 1840. Spencer's Versuche (Dingler's Journal, 75. Bd. 1840, und Mechanics Magazine Nr. 846) gehen nach seiner Angabe bis in das Jahr 1837 zurück; er wendete keine abgesonderte Zersetzungszelle an, sondern eine Daniell'sche Kette wie Jakobi, und zwar mit einer Scheidewand von Gyps, statt dessen man auch unglasirten Thon nimmt, Kochsalz beim Zink. Die Scheidewand ging vertical durch einen Trog von entsprechenden Dimensionen und bildete so die zwei Zellen. Daß das Zink nicht amalgamirt seyn dürfe und seine Dicke mit der Dicke der verlangten Kupferschichte in einem gewissen — aber nicht angegebenen — Verhältnisse stehen müsse, wie Spencer anfänglich angab, hat sich später auf keine Weise bestätigt. Spencer wollte anfänglich auf eine dickgefirnißte Platte radiren, die radirten Züge galvanoplastisch ausfüllen, in der Hoffnung, sie würden fest auf der Unterlage von Kupfer haften und dann zum Abdruck wie Holzstiche verwendet werden können; er erreichte jedoch hierin keinerlei Resultate von praktischem Erfolge. Anfänglich hielt das niedergeschlagene Kupfer nicht auf der Platte, bis er diese mit Salpetersäure anätzte. Uebrigens hatte er die Sache sogleich bei der ersten Publication bereits nach allen Richtungen verfolgt. So formte er gestochene Kupferplatten galvanisch ab oder preßte sie in Blei ab, um sie als Modell für weitere galvanoplastische

*) Die in §. 176 angeführte Erscheinung, daß das Kupfer nicht zum negativen Pol wandert, wirkt hier nicht störend, da die Platten immer nur geringe Entfernung haben und die Anode sich gewöhnlich über der Kathode befindet.

Abzüge zu benutzen, wobei er die gestochene Platte warm mit Wachs überzog und dieses wieder sorgfältig abwischte, um das Zusammenwachsen zu verhüten; ebenso machte er Formen aus Gyps und Thon, die er zuerst mit Leinölfirniß, und nach dessen Abtrocknen mit Mastixfirniß überzog und zuletzt mit Broncepulver überpuderte oder mit Blattgold auslegte; solche Formen wurden durch einen mit Firniß oder Siegellack überzogenen Kupferdraht mit der Zinkplatte verbunden.

Die ursprüngliche Idee Spencer's, erhabene Typen zum Drucke zu erhalten, änderte später (Patent vom Jahre 1841 [Dingler's Journal, 95. Bd.]) von Kobell in München dahin ab, daß er eine Kupferplatte dick mit Kupferstecherfirniß überzog, diesen mit Graphitpulver (fein gemahlen und geschlämmt) leitend machte und dann hineinradiren ließ bis auf die Kupferplatte; größere helle Stellen wurden dann noch besonders mittelst eines Pinsels mit Wachs überzogen und wieder leitend gemacht. Die ganze Platte wurde sodann galvanoplastisch mit Kupfer überlegt. Um die Trennung zu erleichtern, hatte von Kobell schon früher bei gestochenen Platten dieselben durch Eintauchen in eine Lösung von Chlorsilber und Kochsalz schwach versilbert. Indessen findet sich im 95. Bande von Dingler die gleiche Methode unter dem Namen Glyphographie von Palmer beschrieben.

Später wurde nach Jakobi's Angabe bei galvanoplastischen Arbeiten, wo keine besondere Zersetzungszelle angewendet wurde, dem Apparat die Einrichtung gegeben, daß man das Zink auf einige untergelegte Stückchen Holz oder Glas horizontal in ein hölzernes oder gläsernes Gefäß legte, dessen Boden bei kleineren durch eine Schweinsblase, bei größeren durch irgend eine andere stärkere thierische Membran, selbst durch lohgares Kalbleder gebildet ist. Dieses Gefäß wird in ein zweites größeres gesetzt und durch passende Unterstützung so getragen, daß es von dessen Boden einen Abstand von 1—4 Zollen erhält; in das größere Gefäß legt man nun eine Kupferplatte, auf welche die zu überziehende Kupferplatte gelegt wird, nachdem sie vorher mit Fett sorgfältig eingerieben und wieder abgewischt, oder vorher leicht versilbert wurde. Der Rand der untern Platte wird mit Wachs überzogen, so weit er nicht von der als Form dienenden Platte bedeckt ist. An die untere Platte werden je nach ihrer Größe ein oder mehrere Kupferdrähte gelöthet, welche mit Wachs überzogen sind und außerhalb in Quecksilbernäpfe tauchen, in welche auch eben so viele an das Zink gelöthete Drähte reichen. Der Apparat kann auf diese Art des Nachsehens wegen leicht auseinander genommen werden. Zum Zink kommt, wie in jeder Daniell'schen Kette, sehr verdünnte Schwefelsäure und zu der Form Kupfervitriollösung, die man dadurch gesättigt erhält, daß man gepulverte Krystalle in einem Säckchen hineinhängt. Formen von Gyps

und Thon erhalten eingeſteckte Drähte, bis zu welchen hin dieſelben ebenfalls leitend gemacht werden, doch überdeckt man dieſe Stellen ſpäter wieder mit Wachs, damit ſich hier kein Kupfer ablagere und die ſpätere Trennung erſchwere.

Die Trennung der Kupferplatten geſchieht ſo, daß man beide in den Schraubſtock nimmt und ringsum befeilt, wo man dann da und dort eine Spalte bemerkt, in die man einen Hornſpattel oder ein ähnliches Werkzeug einführen kann, um die Trennung zu bewirken, wozu manchmal auch eine mäßige Erwärmung beiträgt. Die zuerſt erhaltene Platte dient wieder als Form, die Trennung von dieſer iſt aber keiner Schwierigkeit unterworfen.

Man benutzt manchmal einen ähnlichen Apparat, wie der vorhin beſchriebene, um auf die untere Kupferplatte mehrere kleinere Gegenſtände zugleich ſtellen zu können. Wenn der Proceß mehrere Tage dauert, ſo muß man täglich den Apparat auseinandernehmen, an dem niedergeſchlagenen Kupfer die Warzen mit der Feile entfernen, das geſäuerte Waſſer beim Zink erneuern, und ebenſo die Kupfervitriollöſung und das Zink ſelbſt von dem darauf abgeſetzten Schlamme reinigen.

Indeſſen zeigten ſich bei der galvanoplaſtiſchen Nachbildung von Kupferplatten doch auch manche Uebelſtände; ſo machte Gerlach (Dingler's Journal, 82. Bd., und Journal für praktiſche Chemie, Sept. 1841) namentlich nebſt Anderm auch darauf aufmerkſam, daß die galvaniſchen Kupferplatten ſpröde ſeyen, daß ſie zwar dieſe Eigenſchaft durch Erhitzen verlieren, bei letzterem aber dann um $^1/_{22}$ lineär größer würden, was bei ungleicher Ausdehnung ſogar Verzerrungen herbeiführen könne. Gerlach meint nach einigen Verſuchen, man könnte vielleicht die Sprödigkeit wegnehmen, ohne die Ausdehnung in gleichem Grade zu erhalten, wenn man die Platten nur bis zur Hitze des ſchmelzenden Zinnes etwa erwärmen würde, ohne aber Genaueres darüber anzugeben. Dann fand man ferner, daß doch mitunter die Kopie mit dem Original zuſammenwachſe, oder ſich in unterhöhlten Linien einhake, und Elsner findet es darum bedenklich (Dingler's Journal, 80. Bd., und Journal für prakt. Chemie, 1841, Bd. 22.), eine koſtbare Platte dieſem Verfahren zu unterwerfen. Die Contractionen, die bei Erzeugung der Form — namentlich aus Gyps — ſtattfinden, ſo wie die Möglichkeit des Verbiegens beim Ablöſen und nachherigen Bearbeiten der Rückſeite, machen nebſt andern bereits angeführten Gründen die Anwendung der Galvanoplaſtik auf Copirung von Maaßſtäben und andern Meßwerkzeugen unanwendbar. Ferner halten, nach de la Rive (Dingler's Journal, 99. Bd.), ſolche Platten überhaupt wenige Abdrücke aus und es ſollen namentlich die Linien galvaniſch copirter Holzſchnitte innen häufig hohl ſeyn, weil in den Vertiefungen ſich die Kupfervitriollöſung nicht gehörig erneuere und daher wegen Erſchöpfung die Ab-

lagerung unterbleibe, bis die Linie zuletzt von der Seite überwachſe, auch ſollen ſie ſich nicht mit Zinnober abdrucken laſſen, da ſich Queckſilber ausſcheide, was bei geſtochenen Platten nicht der Fall ſey. Vogel aus Frankfurt prägte daher (Dingler's Journal, 110. Bd.) die Platten — namentlich aber Stahlplatten — in Wachs ab, das vorher mit Graphit bepudert wurde, was nach dem Prägen nochmals geſchah, worauf der loſe Graphit durch einen Blaſebalg entfernt wurde.

Eine eigenthümliche Idee verfolgte bei geätzten Kupferplatten Vogel, indem er die geätzte Platte — geſtochene mußten vorher ſchwach mit Salpeterſäure behandelt werden — nach Entfernung des Aetzgrundes ganz überwachſen läßt, dann wieder bis auf die Ebene der urſprünglichen Platte wegſchleift, um die ausgefüllte Zeichnung nun in Form eingelegter Arbeit zu erhalten (Dingler's Journal, 106. Bd.). Wie weit dieſe Idee praktiſchen Erfolg hatte — etwa wenn Silber niedergeſchlagen wurde, z. B. auf Eiſen — iſt mir nicht bekannt. Knoblauch ſchlug vor (Dingler's Journal, 105. Bd.) auf einer reingearbeiteten Kupferplatte, Platten für Kupferſtecher galvaniſch zu erzeugen; da dieſe keine unganzen Stellen enthalten, auch ſogleich eben und polirt ſeyn würden. Sollen Stereotypplatten galvanoplaſtiſch erzeugt werden, ſo kann dieſes unmittelbar dadurch geſchehen, daß man eine zwei bis drei Linien hohe Wachsſchicht mit dünngewalztem Blei belegt und einen Abdruck macht, auf welchem man dann die Kupferplatte erzeugt; ſolche Platten, ſo wie galvanoplaſtiſche Abzüge von Holzſtichen werden immer nur dünn genommen, dann auf der Rückſeite unter Beihülfe von ſalzſaurem Zink verzinnt und mit Schriftmetall begoſſen. Bei Holzſtichen wird entweder zuerſt eine Form auf galvanoplaſtiſchem Wege, indem man das Holz durch Graphit leitend macht, oder durch Prägung erzeugt; ſoll aber Holz in eine Flüſſigkeit kommen, ſo müſſen die nicht zu überziehenden Theile deſſelben aus doppeltem Grunde gut geſchützt werden durch Ueberlegen mit Bleiplättchen und Ueberziehen der letztern mit Wachs.

Eine eigenthümliche Anwendung von der galvaniſchen Erzeugung der Kupferplatten machte von Kobell (den 4. Mai 1840 der Akademie zu München vorgelegt) und gab ihr den Namen Galvanographie. Er malte nämlich in Tuſchmanier mittelſt einer Auflöſung von Damarharz in Terpentinöl, der Eiſenroth zugeſetzt wurde, auf eine polirte Kupferplatte und ließ ohne weiteres Leitendmachen dieſelbe galvanoplaſtiſch mit Kupfer überziehen. Die gewonnene Platte kann dann ſogleich zum Drucke verwendet werden, die Lichter werden am hellſten, wo kein Firniß aufgetragen wurde. Das Ueberwachſen der gefirnißten Stellen geſchieht zum Theile von Punkten aus, die ſich auf denſelben bilden, wo ſtellenweiſe das Kupfer der Unterlage durch den Firniß hindurch wirkt, zum Theile aber auch von den

ungedeckten Stellen aus. Da die Platten jedoch nicht viele Abdrücke aushalten sollen, so kann man dieselben zuerst galvanoplastisch vervielfältigen. Von Kobell hat sein Verfahren in einer besondern Schrift auseinandergesetzt (München, Cotta).

Für galvanoplastische Nachbildungen anderer Art, als der Kupferplatten, muß gewöhnlich erst eine Form beschafft werden. Man erhält dieselbe entweder durch Abklatschen in einem leichtflüssigen Metall oder durch Abpressen in weichen Bleiplatten, oder durch Abgießen in Gyps und Wachs, in Gyps allein, oder auch in Wachs allein, oder in Wachs mit gleichen Theilen Colophonium.

Was nun die metallischen Formen betrifft, dürfen dieselben nicht aus Metallen bestehen, welche für sich von der Kupfervitriollösung angegriffen werden, wie Eisen, Zinn, Zink; solche müßten vorher galvanisch gut versilbert werden. Böttger hat im Frankfurter Gewerbefreund von 1840 (Dingler's Journal, 78. Bd.) ein Gemisch aus 8 Wismuth, 8 Blei, 3 Zinn (Schmelzpunkt 86° R.) empfohlen, und empfiehlt metallene Model überall da, wo sie anwendbar seyen. Er gießt das geschmolzene Metall in eine Pappschachtel, rührt es mit einem Eisendrahte, bis es breiig wird und drückt dann den abzuformenden Gegenstand bis zum Erkalten darauf. Auch Abdrücke in dünnes, durch Lauge von Fett gereinigtes Blei empfiehlt Böttger; sie werden unter Beilage von feuchter Pappe in einer Presse — Schraubstock — gemacht. Bei sehr zerbrechlichen Gegenständen kann man Bleifolie — Stanniol ist nicht anwendbar — mit Baumwolle aufreiben und vor dem Abheben mit einer Mischung von Wachs und Harz übergießen, doch möchten in solchen Fällen Abgüsse vorzuziehen seyn.

Bei dem Abgießen mit flüssigem Wachs, worein man Gyps gerührt hat, oder mit Gyps allein, oder mit einer Mischung aus Wachs und Colophonium hat man nur nöthig, den Gegenstand mit einem Papierrande zu umgeben und die gut flüssige, aber blasenfreie Masse darauf zu gießen; die Ablösung darf erst nach vollständigem Erkalten versucht werden und geht in der Regel leicht. Gypsformen müssen aber nachher in geschmolzenes Wachs getaucht werden, um sie wasserdicht zu machen. Auch in Guttapercha macht man Abdrücke, nachdem man sie und den Gegenstand in Wasser langsam erwärmt und beide wieder abgetrocknet hat. Es geschieht am besten unter passenden Beilagen in einem Schraubstocke. Um nun solche und hölzerne Formen leitend zu machen, nahm Spencer (Dingler's Journal, 77. Bd.), nachdem er andere Verfahren, wie Belegen mit Blattgold, Einstäuben mit Graphit, theils zu theuer, theils ungenügend gefunden, $^1/_{300}$ Phosphor und löste denselben in 1 Theil starkem Alkohol im Wasserbad auf, tauchte den Model einige Secunden lang in eine schwache Lösung von salpetersaurem Silber und hielt ihn sodann über

die Phosphorlöſung, während dieſelbe in einem Uhrglaſe im Sandbade verdunſtete. Statt des letzteren Verfahrens ſchlug Böttger vor, die mit ſalpeterſaurem Silber getränkten Formen in einen Raum zu bringen, in welchen man unentzündliches Phosphorwaſſerſtoffgas leite, welches erhalten wird, wenn man einige Stückchen Phosphor in einer Retorte mit Brennſpiritus übergieße, einige Stückchen Aetzkali zuſetze und erwärme. Jetzt pudert man gewöhnlich ſolche Formen mit feingeſchlämmtem Graphit, oder mit fein zertheiltem Silber — ächte Silberbronce — ein und reibt das Pulver mit einem feinen Pinſel auf.

Die Nachbildung runder Formen bietet der Galvanoplaſtik bedeutende Schwierigkeiten, ſie werden meiſt in einer abgeſonderten Zerſetzungszelle gemacht, und es muß dabei die Größe der Oberfläche des Elementes jener der zu überziehenden Fläche nahezu gleich oder größer ſeyn. Jakobi verſuchte es zuerſt ſo, daß er eine in Wachs modellirte halbrunde Büſte leitend machte, ſie ganz dünn galvaniſch überzog, das Wachs ausſchmolz, die Form mit Terpentinöl reinigte und nun auf der innern Seite eine dicke Ablagerung von Kupfer machte, worauf er es verſuchte, das äußere dünne Blatt (Dingler's Journal, 78. Bd.) herunter zu reißen, was aber nicht ganz ohne Beſchädigung abging. Einem Herrn Soyer in Paris (Dingler's Journal, 78. Bd.) gelang es auf dieſe Art, eine Büſte ziemlich fehlerfrei nachzubilden, worauf er ſogleich ſich erbot, den bekannten großen Elephanten galvanoplaſtiſch darzuſtellen, um den Betrag von 200000 Francs. Zu ſeinem Glücke wohl nahm ihn Niemand beim Worte. Auf ähnliche Weiſe ſuchte auch Herzog Max von Leuchtenberg runde Formen darzuſtellen (Dingler's Journal, 80. Bd.), in deſſen Anſtalt überhaupt Galvanoplaſtik auf das Großartigſte betrieben wird, da nur von dem ſchwarzen Pulver, welches ſich auf den kupfernen Anoden anſetzt und von Verunreinigungen des käuflichen Kupfers und der angewendeten Schwefelſäure herrührt, und von welchem die Annoden alle 12 Stunden gereinigt werden müſſen, in Zeit von — dem Zeitpunkte der Journalnachrichten nach zu urtheilen — höchſtens 2 Jahren 40 Pud geſammelt wurde. Auch in Stiglmeyer's Anſtalt war man nicht glücklich mit dem Verſuche, Statuen in größerem Maaßſtabe galvanoplaſtiſch darzuſtellen. Ein Herr Moyle will zwar (Dingler's Journal, 80. Bd. aus Sturgeon's Annals of Electricity) über Formen von Wachs, was er ſpäter ausſchmolz, runde Formen dargeſtellt haben, allein er will der ſchönſten getriebenen Arbeit ähnliche Gegenſtände, namentlich auch von Silber erhalten haben, was eben die Glaubhaftigkeit ſeiner Angaben ſehr herabſtimmt. Der Verein für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen ſetzte auf die Anfertigung einer größern Statue auf galvanoplaſtiſchem Wege einen Preis (Dingler's Journal, 108. Bd., aus den Verhand-

lungen des Vereins vom Jahre 1848), den Herr von Hackewitz erhielt. Er fertigte über das Modell eine zerlegbare Form aus 2 Wachs, 2 Terpentin, 1 Colophonium und 5 Graphit, es wurden zuerst die untersten Theile innen leitend gemacht und auf den Fugen, sodann das Zink in einem Beutel aus thierischen Häuten (Därmen), mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, hineingehängt, ohne daß sie die Form berührten, und dann Kupfervitriol zugegossen und das Zink mit der leitenden Form verbunden. War der erste dünne Ueberzug in zwei aufeinander gehörenden Theilen der Form gebildet, so wurden sie zusammengefügt und die Leitung vom Zink im Beutel an die leitend gemachte Fuge geführt, nun noch mehr Kupfer niedergeschlagen und so die beiden schon vorhandenen dünnen Kupferüberzüge in ein Stück vereinigt. Auf gleiche Weise wurden successive die Theile der ganzen Statue zusammengesetzt, mit Ausnahme der Arme, welche jeder für sich auf gleiche Weise gebildet wurden. Da in die ganz engen Theile keine Beutel mit dem Zink eingeführt werden konnten, so wurde für den ersten Ueberzug derselben eine abgesonderte Batterie verwendet. Ein solches Verfahren kann man wohl einem Preise zu lieb unternehmen, allein es zeigt, daß man bis jetzt in diesem Punkte noch durchaus zu keinen praktischen Resultaten gelangt ist. Auf eine ähnliche Weise, wie hier die Theile zusammengefügt wurden, verfährt man auch, um kupferne Ringe galvanisch zu löthen, indem man die Ringe mit Firniß überzieht, die Fuge aber metallisch rein macht und nun Kupfer in die Fuge bis zum Ueberwachsen derselben niederschlägt.

Eine besondere Anwendung der Galvanoplastik machten Mallet und Meillet, indem sie Glas- und Porcellangefäße mit einem dünnen Kupferüberzuge an den dem Feuer ausgesetzten Stellen überzogen. Mallet überzog die Gefäße mit Canadabalsam und Graphit, Meillet aber mit Gummi und salpetersaurem Silber, welchen Anstrich er aber in der Flamme trocknete; allein in der Glühhitze wird diese Zwischenlage zwischen dem galvanisch darauf abgelagerten Kupfer und dem Gefäße zerstört und dadurch der Ueberzug locker. M. Simson schlug nun in der Zeitung für Handels- und Fabrik-Industrie von 1843 (Dingler's Journal, 89. und 91. Bd.) vor, die zu überziehenden Stellen durch Aetzen mit Flußspathsäure rauh zu machen und dann mittelst eines Korkstöpsels mit Graphit einzureiben. Mohr sah solche Gefäße auf der Pariser Ausstellung von 1844, berichtete darüber als ein neues Product in Dingler's Journal, 103. Bd., und versuchte sie nachzumachen; allein er wendete einen Copalfirniß an, den er mit Bronce überpuderte, und so hafteten seine Ueberzüge nur da, wo sie, wie an Retorten und dergleichen, übergreifend seyn konnten, nicht aber an Abrauchschalen. Elsner machte später wieder Versuche hierüber (Dingler's Journal, 108. Bd.), nahm wieder

Firniß und Graphit und wendete auch das Aetzen an; wenn er die Stellen 24 Stunden lang mit einem Brei aus Flußſpath und Schwefelſäure bedeckt hatte, ſo wurden ſie nach dem Abwaſchen mit Graphit eingerieben und der galvanoplaſtiſche Kupferüberzug haftete ſelbſt an Abrauchſchalen vollkommen feſt, wie dieſes übrigens Simſon ſchon jahrelang vorher angegeben hatte, ohne daß es von Elsner erwähnt wird. Glasröhren hat man auf dieſe Weiſe — namentlich Mallet — zu vereinigen geſucht; ſie werden hiefür am Ende aufgeſtaucht und ebengeſchliffen, dann etwa auf ½—1 Zoll vom Ende durch Firniß und Graphit leitend gemacht; allein ſowohl das Befeſtigen der Röhrenenden gegeneinander, als das Eintauchen der Röhren hat ſeine Schwierigkeiten; für letzteres muß das Gefäß Oeffnungen haben, die man nach dem Einführen der Röhre wieder mit Thon verſtopft, ehe man den Kupfervitriol zugießt.

Talbot und Steinheil haben ſich auch damit abgegeben, Metallſpiegel galvanoplaſtiſch nachzumachen, auch Wheatſtone hat ſich damit beſchäftigt. Talbot wollte die Kupferſpiegel dadurch weiß machen, daß er ſie dem Dampfe hydrothionſauren Ammoniaks ausſetzte, Steinheil aber vergoldete die Spiegel. Die urſprünglichen Metallſpiegel können ohne beſondere Vorbereitung als Form benutzt werden. Steinheil wendete beſondere Vorſicht an, um die erſte Ablagerung ſchön rein zu erhalten; er nahm ſie in einer beſondern Zerſetzungszelle vor, in der er ſich durch eine Probeplatte davon zuerſt überzeugt, ob alles in gehörigem Stande ſey, d. h. ob ſchnell ſich eine gleichförmige, roſenrothe Ablagerung bildet; nachher brachte er die Form in einen gewöhnlichen einfachen Apparat, wo er die Ablagerung wochenlang fortſetzte, bis der Spiegel zolldick war. Warzen u. dergl. nahm er täglich mit der Feile weg. Dieſes Verfahren ſcheint bis jetzt noch nicht zu praktiſchen Reſultaten geführt zu haben (Dingler's Journal, 99. Bd.).

Auch galvanoplaſtiſche Copieen von Daguerreotypbildern, nachdem dieſe vorher vergoldet ſind (Dingler's Journal, 91. Bd., aus Philosophical Magazine, Sept. 43.), wie dieſes Draper angab, ſcheinen bis jetzt ohne Erfolg oder doch wenigſtens ohne den beabſichtigten geblieben zu ſeyn.

Noch weniger iſt dieſes wohl mit Napier's Verfahren der Fall, welcher leinene Zeuge mit Kupfer überzog, um ein waſſerdichtes Zeug zu erhalten. Der Ueberzug ſollte pr. Quadrat-Yard nur 12 Unzen wiegen (Dingler's Journal, 91. Bd.).

Um die zu dieſen Arbeiten allen erforderliche Vitriollöſung wohlfeiler zu erhalten, räth Schubert (Dingler's Journal, 81. Bd., und Erdmann und Marchand's Journal für prakt. Chemie, 1841, Nr. 11.), die Kupferaſche der Kupferſchmiede zu kaufen, ſie mit Schwefelſäure von 15—20° Baumé zu einem dicken Brei anzurühren, dieſen auf Tel-

lern von Steingut 24 Stunden stehen zu lassen und dann mit gleicher Schwefelsäure auszuwaschen; nach dem Abgießen und Decantiren wird dieses mit denselben Portionen so lange wiederholt, bis entweder die Kupferasche erschöpft oder die Schwefelsäure gesättigt ist; ersteres erkenne man daran, daß die Asche beim Wiederanfeuchten nicht mehr roth werde, letzteres am Aufhören der sauren Reaction und der gesättigten Farbe. Statt frischer Schwefelsäure verwende man dann später nur die durch galvanoplastische Arbeiten erschöpfte Flüssigkeit.

182 **Vergoldung, Versilberung u. s. w. auf galvanischem Wege.** Man hatte schon seit längerer Zeit beobachtet, daß sich in einzelnen Fällen an Poldrähte, welche in Metallösungen tauchen, die Metalle in compactem Zustande niederschlugen und fest daran hafteten, und es war auch schon der Gedanke ausgesprochen worden, dieses zu wirklichen Ueberzügen anderer Metalle zu verwenden; allein erst de la Rive gab dieser Sache eine entscheidende Wendung, indem er zeigte, wie man mit Anwendung galvanischer Ströme eine Goldlösung zersetzen müsse, damit der als negativer Pol dienende Gegenstand mit einer dünnen Goldschichte gleichmäßig überzogen — vergoldet würde.

De la Rive (Dingler's Journal, 76. Bd., aus Comptes rendus, 1840, Nr. 14.) nahm eine Lösung von Chlorgold — 40 bis 80 Gran metallisches Gold auf ein Pfund Wasser — in eine Blase und hing diese in »mit einigen Tropfen« Schwefelsäure angesäuertes Wasser, in welches er Zink stellte; den zu vergoldenden Gegenstand verband er durch Kupferdrähte mit dem Zink und tauchte ihn in die Goldlösung; nach ziemlich kurzer Zeit nahm er ihn heraus, spülte denselben, rieb ihn stark mit einem reinen leinenen Tuche, tauchte ihn wieder ein und wiederholte dieses einige Mal. Er hielt nach ein paar Eintauchungen den Gegenstand für stark genug vergoldet und glaubte nicht, das längeres Eintauchen von Nutzen sey; denn unter den Gründen, welche ihn bei diesem Verfahren leiteten, führt er auch folgenden an: »3. Die Eigenschaft des elektrischen Stromes, um so leichter von einer Flüssigkeit in ein Metall und umgekehrt überzugehen, je leichter dieses Metall von der Flüssigkeit angegriffen wird. In dem gegebenen Falle wird das in die Goldauflösung getauchte Metall leichter angegriffen, als das Gold selbst; so lange folglich der eingetauchte Theil nicht gänzlich vergoldet ist, wird der Strom die Punkte aufsuchen, wo das zu vergoldende Metall noch bloß ist, sie durchstreifen und darauf Gold absetzen, wie lang auch der Weg seyn mag, den er zu durchlaufen hat, d. h. so unregelmäßig auch die Form des zu überziehenden Gegenstandes ist.« Die zu vergoldenden Gegenstände wurden rein metallisch gemacht und blieben nach dem Vergolden matt oder polirt, wie sie es vorher waren. Die von de la Rive hervorgebrachten Vergoldungen waren also jedenfalls

nur dünn; übrigens hat er dabei keinerlei Maaßbeſtimmungen, weder über Stromſtärke noch über das Gewicht des abgeſetzten Goldes gemacht. De la Rive hat anfänglich nur Silber und Meſſing unmittelbar vergoldet; Eiſen mußte vorher verkupfert werden. Böttger wiederholte auch dieſe Verſuche mit einer möglichſt neutralen Goldlöſung und will ein Rothwerden des Gegenſtandes bemerkt haben, wenn der zu leitende Kupferdraht in die Goldlöſung reichte. Kupfer könne gar nicht vergoldet werden, wenn die Goldlöſung auch nur Spuren von Kupfer enthalte, es ſchlage ſich dann nur Kupfer nieder und deshalb müſſe de la Rive's Angabe von vorherigem Verkupfern eiſerner Gegenſtände falſch ſeyn, er habe Stahlfedern u. dergl. ſehr gut ohne Verkupferung vergoldet. (Dingler's Journal, 78. Bd., aus dem Frankfurter Gewerbefreund für 1840, Nr. 40.) Mit Chlorplatin könne man auf dieſelbe Weiſe dünn verplatinen. Auch Böttger meint mit 5—6 je eine Minute dauernden Eintauchungen eine ſtarke Vergoldung zu erreichen.

Eiſen kann allerdings mit Chlorgold ohne vorherige Verkupferung ſchwach vergoldet werden und auch Arago legte der Akademie eine von Deut vergoldete Uhrfeder vor (Dingler's Journal, 80. Bd., aus France industrielle, 1841, Nr. 19.) und bemerkte dabei, daß ein Herr Perrot in Rouen ſchon früher ſolche gemacht habe und ſie der Akademie nur nicht habe vorlegen wollen, bis er eine ganze Uhr während des Ganges würde vergoldet haben (!).

Praktiſch wurde jedoch das Vergolden und Verſilbern erſt, nachdem die Cyanverbindungen eingeführt wurden. Elkington hatte in Birmingham eine Fabrik von Bijouteriegegenſtänden, wo durch Eintauchen vergoldet und verſilbert wurde, und wo man auch Verſuche machte, mittelſt Chlorgold galvaniſch zu vergolden; als aber der Chirurg John Wright die Cyanverbindungen angewendet hatte, erkannte Elkington ſogleich die hohe Wichtigkeit des Gegenſtandes, kaufte ihm die Sache ab und gewann gerade noch die Zeit, um dieſes Verfahren in die Specification ſeines Vergoldungsverfahrens aufzunehmen, worauf er bereits ein Patent angemeldet hatte. Auch in Frankreich nahm er ein Patent und kam hier mit v. Ruolz in Concurrenz, deſſen Patent übrigens ein paar Täge jünger iſt, und mit dem ſich Elkington ebenfalls verband.

Elkington wendete immer eine getrennte Zerſetzungszelle an und für Vergoldung 3 Pfund Cyankalium auf 10 Pfund Waſſer und 5 Unzen Silberoxyd oder 2 Pfund Cyankalium, 10 Pfund Waſſer, 2 Unzen Goldoxyd an; ſtarke Ueberzüge wurden dabei matt und mußten zwiſchendurch mit der Kratzbürſte behandelt werden. Eiſen mußte vorher verkupfert werden; für letzteren Zweck wurde das Eiſen unter Berührung mit Zink in auf $\frac{1}{2}$ verdünnte Schwefelſäure gebracht, bis es rein war, dann in eine geſättigte Löſung von angeſäuertem Kupfervitriol, der ſich

in einem Meſſinggefäß befand, mit dem man das Eiſen in Berührung brachte. V. Ruolz wendete in Cyankalium gelöſtes Cyangold und ebenſo auch in Cyaneiſenkalium (gelbem und rothem) gelöſtes Cyangold, auch in neutralem Schwefelkalium gelöſtes Schwefelgold an; obwohl letzteres in dem Berichte der Commiſſion, welche die Sache zu unterſuchten hatte (Dingler's Journal, 83. Bd., aus Comptes rendus, Nov. 1841.), als das beſte genannt wird, ſo machten ſie ihre Verſuche doch alle nur mit den Cyanverbindungen. Bei einem ſolchen Verſuche wurde 1 Grm. trockenes Chlorgold in 100 Grm. Waſſer mit 10 Grm. gelbem Cyaneiſenkalium gelöſt und eine Säule von 6 Daniell'ſchen Elementen, zu 2 Decimeter Seite jede Platte, angewendet; der Niederſchlag fand ſich der Zeit proportional und es wurden bei bis zu 60° C. erwärmter Flüſſigkeit auf eine Meſſingplatte von 50 Quadr.-Centimeter 0,063 Grm., bei 35° 0,0296, bei 15° 0,0126 Gold pr. Minute niedergeſchlagen, während nach den eigends hiefür angeſtellten Verſuchen von Dumas Feuervergoldungen auf gleicher Fläche höchſtens 0,1297 und mindeſtens 0,0214, Vergoldungen auf naſſem Wege aber nur 0,0137—0,0211 Grm. Gold beſitzen.

Aehnliche Reſultate erhielt die Commiſſion bei Löſungen von 1 Cyanſilber auf 100 Waſſer und 10 gelbem Cyaneiſenkalium. Mit Cyanplatin dagegen ſey die Ueberziehung 100mal langſamer gegangen, aber mit Doppelchlorplatinkalium in Aetzkali gelöſt, ſey es ſo gut gegangen als bei Gold, ſagt die Commiſſion der Akademie. Die Verſuche über das Verkupfern, Verzinnen, Verkobalten und Vernickeln ſind nur oberflächlich angegeben und nur bei Nickel iſt ſeine leichte Ablagerung auf Eiſen bemerkt und bei dem Verzinken des Eiſens auf ſein vortheilhaftes elektriſches Verhalten in Bezug auf den Schutz dieſes Metalls aufmerkſam gemacht; während ſpäter v. Ruolz behauptet (Dingler's Journal, 86. Bd., aus Comptes rendus, Aug. 1842, Nr. 6.), daß verzinktes Eiſen an bloßen Stellen viel ſtärker roſte, als verbleites oder verzinntes, was auch Elsner (Dingler's Journal, 88. Bd.) beſtätigt. Was für Umſtände dieſe widerſprechenden Verſuche begleitet haben, iſt aus den Aufſätzen nicht zu entnehmen. Wenn dagegen die Commiſſion ſagt: »Außerdem kann das Verfahren dazu dienen, um das Eiſen mit einem Meſſingüberzuge zu verſehen, wie wir uns überzeugt haben; man braucht nämlich nur Zink und Kupfer niederzuſchlagen und dann den Gegenſtand in Kohlenpulver zum Rothglühen zu erhitzen, wobei ſich Meſſing erzeugt,« ſo iſt das doch wohl nur eine Schreibpultüberzeugung und iſt jenes Stückchen, welches jede ſolche Prüfungs-Commiſſion meint, zur Erweiterung der neuen Erfindung beitragen zu müſſen.

Das neue Verfahren fand allgemeinen Beifall, und man fand bald, daß man mit vier- bis ſechsmal verdünnterer Löſung gleich gute Reſultate

erhielt, ſo wie, daß es ſicherer ſey, nur ein Element anzuwenden, oder nur die einfache Kette, indem man zum Zink Kochſalzlöſung nahm, doch zeigte ſich auch ein Uebelſtand darin, daß bei größern Quantitäten und längerer Dauer der Blauſäuregeruch läſtig war *), und daß bei Anwendung des Blutlaugenſalzes ſich gern ein blaugrüner Bodenſatz bilde (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd.), während die Anwendung des Cyankaliums, bevor Liebig ſeine neue Bereitungsweiſe bekannt gemacht hatte, theuer war. Auch vergoldete man anfänglich nicht ſtark genug, indem man ſich ſeltſame Vorſtellungen von Golderſparniß machte, wodurch das Verfahren beim Publikum in Mißcredit kam; denn allerdings kann man im Feuer nicht ſo ſchlecht vergolden, als auf galvaniſchem Wege. Man legte anfänglich auch beſonders darauf Werth, daß das Stück vor dem Vergolden ganz fertig gemacht werden könne und fand erſt ſpäter, daß eine ſtarke Vergoldung immer matt werde. Daß man ſtellenweiſe einen Deckgrund auftragen könne, z. B. aus Kupferſtecherfirniß oder auch nur aus Wachs, um ſo nur gewiſſe Theile zu vergolden, hatte gleich anfänglich von Ruolz bemerkt. Daß man die Farbe der Vergoldung ins Rothe treiben könne durch Zuſatz von Cyankupfer, wurde ebenfalls bald bekannt (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd.).

Man wendet jetzt gewöhnlich das Cyankalium an, welches nach Liebig's Methode bereitet iſt, da es ſo von Jedermann dargeſtellt werden kann, obwohl es immerhin noch etwas theuer wird, weil man aus den aufgewendeten Materialien nur wenig erhält. Die Vorſchrift Liebig's lautet ſo: (Dingler's Journal, 84. Bd., aus Annalen der Chemie und Pharmacie, März 1842). »Wenn man 8 Theile Blutlaugenſalz auf einem heißen Eiſenblech ſtark trocknet, ſchwach röſtet, ſodann fein gepulvert mit 3 Theilen trockenem kohlenſauren Kali innig mengt und in einen heſſiſchen Tiegel, den man vorher ſchwach rothglühend macht, auf einmal einträgt und bei dieſer Temperatur erhält, ſo ſchmilzt die Miſchung anfänglich zu einem braunen Magma unter lebhafter Gasentwickelung; nach einigen Minuten ſchon, wenn die flüſſige Maſſe Rothglühhitze angenommen hat, ſieht man die dunkle Farbe heller werden und beim fortgeſetzten Schmelzen wird ſie im Tiegel klar und bernſteingelb. Steckt man von Zeit zu Zeit einen heißen Glasſtab hinein, ſo bleibt nach dem Herausziehen das Anhängende nach dem Erſtarren anfänglich braun, ſpäter wird es gelb und zuletzt, zu Ende der Operation, iſt die Flüſſigkeit, welche am Glas-

*) Gegen dieſen Uebelſtand hilft nur Luftzug, allein die Cyanverbindungen bewirken auch alle Symptome der Blauſäurevergiftung, wenn man mit wunden Händen in denſelben arbeitet und müſſen in jeder Beziehung vorſichtig behandelt werden.

stabe hängen bleibt, klar und farblos wie Wasser, und erstarrt zu einer blendend weißen krystallinischen Masse.

»Während des Schmelzens bemerkt man braune Flocken in der Flüssigkeit herumschwimmen, welche sich zuletzt schwammartig vereinigen und eine hellgraue Farbe annehmen. Nimmt man nun den Tiegel aus dem Feuer und läßt ihn etwas abkühlen, so geschieht es meistens, daß sich das graue Pulver vollständig zu Boden setzt; durch ein ein- oder zweimaliges Umrühren mit dem Glasstabe wird dieses Absetzen erleichtert. Die darüber stehende heiße geschmolzene Masse läßt sich nun mit der größten Leichtigkeit in eine heiße Porcellanschale ausgießen, ohne daß bei einiger Vorsicht ein Körnchen des abgesetzten Pulvers mitfolgt.«

Die zerschlagene Masse wird in wohlverschlossenen Gefäßen aufbewahrt, da sie an der Luft zerfließt und sich im flüssigen Zustande zersetzt.

Die Goldlösung bereitet man nun so: das Gold wird dünn ausgewalzt und zerschnitten, in einer Porcellanschale mit seinem siebenfachen Gewichte Salzsäure im Wasserbade erwärmt und so lange mit Salpetersäure nach und nach versetzt, bis alles Gold gelöst ist — oder gerade zu das 10—12fache Gewicht Königswasser — und dampft bis zur Trockene ein; man löst das Chlorgold nun in Wasser und trennt durch Filtriren das sich ausscheidende gelbe Goldchlorür, aus welchem durch Behandlung mit heißem Wasser sich das Gold metallisch wieder ausscheidet, und setzt der Lösung so lange kohlensaures Natron zu, bis sich schwache alkalische Reaction zeigt, worauf man Cyankaliumlösung (1 Salz auf 10 — 20 Wasser ungefähr) unter Umrühren so lange zusetzt, bis alles gelöst und die anfängliche Trübung wieder verschwunden ist, worauf man die Lösung ½ Stunde lang aufkocht. Wenn die Farbe der Vergoldung nicht mehr rein wird, soll man etwas kohlensaures Natron zusetzen und wieder aufkochen, oder auch Cyankalium, besonders dann, wenn das Gold an der Anode nicht mehr ordentlich gelöst wird (Ryhiner, Dingler's Journal, 110. Bd.). Die Farbe wird besonders hochroth, wenn bei gelinder Erwärmung gearbeitet wird.

Für die Silberlösung nimmt man 1 krystallisirtes salpetersaures Silber auf 32 destillirtes Wasser und setzt so lange Cyankaliumlösung zu, bis die anfängliche Trübung wieder gelöst ist. (Elsner, Dingler's Journal, 88. Bd., aus den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen.) Auch wendet man frischgefälltes und gut ausgesüßtes Chlorsilber an, von welchem man in eine Lösung von 1/10 Cyankalium in 1 Wasser so viel nach und nach einträgt, als sich auflöst und dann noch einmal so viel Cyankalium und Wasser zusetzt. Letztere Lösung soll selbst zu silbernen galvanoplastischen Arbeiten dienen. Für die Kupferlösung nimmt man 1 Theil Kupfervitriol auf 12 Theile Wasser und verfährt wie beim Silber.

Allein die Verkupferung geht nicht wohl mit einer einfachen Kette, man muß eine Säule von mindeſtens 2 — 3 Elementen anwenden.

Eine Menge von Vorſchlägen, die Anwendung anderer Verbindungen betreffend, will ich hier übergehen, da dieſelben in der Praxis keinen Eingang fanden, und nur beifügen, daß der Niederſchlag beſonders befördert werde durch Zuſatz einer ſehr kleinen Quantität von Schwefelkohlenſtoff; (Millward und Lyons, Dingler's Journal, 108. Bd., aus Repertory of Patent Inventions, Febr. 1848.) 5 Unzen Schwefelkohlenſtoff mit 6 Maaß (1 Maaß dem Volumen nach = 2 Pfd. Waſſer) der Vergoldungsflüſſigkeit und hiervon täglich 2 Unzen auf 10 Maaß Cyanmetallöſung zugeſetzt. Es wurde dieſes, wenigſtens für Silber, von Elkington beſtätigt (Dingler's Journal, 114. Bd., aus Practical Mechanics Journal, Octob. 1849.) ꝛc. Beſondere Schwierigkeiten hat das Verplatinen gemacht, ſo wie das Vernickeln, und es ſcheint nicht, als hätte man bis jetzt darin ſolche Fortſchritte gemacht, daß die Praxis daraus Nutzen ziehen könne. Nach Fehling (Dingler's Journal, 86. Bd.) und Böttger (ebend. 90. Bd., aus Annalen der Chemie und Pharmacie, Sept. 1843) erhalte man noch die beſten Reſultate, wenn man den Platinſalmiak mit etwas Ammoniak verſetze. Auch für Nickel empfiehlt Böttger daſſelbe, doch iſt die vorbereitende Reinigung des käuflichen Nickels umſtändlich

Bei der galvaniſchen Verzinkung des Eiſens muß man (Pelatt, Dingler's Journal, 95. Bd., aus Technologiste, Febr. 1845) eine ſaure Löſung von ſchwefelſaurem Zink mit großer Anode von Zink anwenden, um ein dauerhaftes Reſultat zu erzielen.

Die verſchiedenen Vorſchläge, welche gemacht wurden, um Eiſen und Stahl — namentlich letzteren — ohne vorgängige Verkupferung zu vergolden, werden hier übergangen, und es können z. B. jene von Desbordeaux in Dingler's Journal vom Jahre 1845 und 1846 nachgeſehen werden; ſie hatten bis jetzt wenig oder gar keinen praktiſchen Erfolg.

Den in dem Gutachten der Akademie niedergelegten Gedanken in Bezug auf die Fällung von Legirungen — obwohl er dort bereits als durch Erfahrung beſtätigt angeführt iſt — griff ſpäter von Ruolz auf. Sein Aufſatz beginnt zwar mit den Worten: »Schon Becquerel's ſinnreiche Anwendung der Elektrochemie in der Metallurgie machte es wahrſcheinlich, daß es gelingen dürfte, auf galvaniſchem Wege Metalllegirungen aus Auflöſungen niederzuſchlagen.« Allein man muß ſich an ſolche ſeltſame Anfänge bei franzöſiſchen Aufſätzen eben gewöhnen. Es gelang wirklich von Ruolz, nach den der Akademie vorgelegten Proben Bronce auf Eiſen niederzuſchlagen, es müſſe aber das Verhältniß der Metalle in den Auflöſungen ein anderes ſeyn, als das der verlangten Legirungen. So hatte von Ruolz zu 500 Theilen Waſſer ſo viel Cyankalium geſetzt, bis die Löſung 4° Beaumé zeigte, und

dann bei 40° — 48° R. zuerst 30 Theile Cyankupfer und dann 10 Theile Zinkoxyd zugesetzt und daraus Niederschläge erhalten, welche 10 — 20% Zinn gehalten hätten. Später nahm auch Jakobi (Dingler's Journal 93. Bd., aus Bulletin de St. Petersbourg) diesen Gegenstand auf und bereitete eine Messinglösung, indem er in einer Cyankaliumlösung eine Anode von Kupfer und eine Kathode von Platin anwendete, bis sich letzteres verkupferte, worauf er eine Anode von Zink nahm, bis der Niederschlag die gewünschte Farbe erhielt, worauf er eiserne Gegenstände mit Messing unter Anwendung einer Anode von Messing überziehen konnte. Es ist mir trotz vieler Versuche nie gelungen, auf diese Weise fortan Messing niederzuschlagen, indem sich die Farbe des Niederschlags bald änderte und die Messing-Anode schwarz wurde; auch Jakobi scheint einigen Aeußerungen zu Folge ähnliche Erfahrungen gemacht zu haben. Ganz gut gelang es mir aber, starke und festhaftende Messingüberzüge auf Eisen zu machen, wenn ich statt der Anode von Messing zugleich Kupfer und Zink nahm und jeden Theil so tief eintauchen ließ, bis die Farbe des Niederschlags die gewünschte war; es stimmt dieses mit der oben angeführten Erfahrung von von Ruolz überein.

Daß man durch Kupfer legirtes Gold fällen könne, ist bereits oben erwähnt, doch soll es zweckmäßig seyn, zuerst eine Schicht von reinem Gold zu fällen ehe man der Goldlösung das Cyankupfer zusetze.

Wenn sich die Metalllösungen in Folge des Gebrauchs erschöpfen, muß man den Strom verstärken, oder wieder von einer concentrirten Lösung zusetzen. Allein man wendet jetzt gewöhnlich Anoden von dem zu fällenden Metalle an und kann dadurch die Lösungen stets im erforderlichen Concentrationszustande erhalten, während man sonst Anoden von Platin nahm. Petzhold führt dieses Verfahren bereits in seiner Schrift: »die galvanische Vergoldung, Versilberung und Verkupferung — Dresden und Leipzig 1842, an, und Jakobi machte gelegenheitlich bei seinem Aufsatze über das Vermessingen darauf aufmerksam, daß man gar nicht nöthig habe, auf chemischem Wege Metalllösungen zu machen; man erhalte die Lösung, wenn man in einer Cyankaliumlösung eine Anode des verlangten Metalls und eine Kathode von Platin anwende, so lange, bis sich auf letzterem das Metall fälle. Solche Anoden werden in dünn ausgewalztem Bleche, das an einen Platindraht gelöthet ist, angewendet. Beim Versilbern geht das Anwenden von Silberanoden nur mit starken Strömen, oder überschüssigem Cyankalium, weil sich, nach Nappier (Dingler's Journal, 95. Bd., aus Philosophical Magazine, Nov. 1844), Cyansilber bilde, welches in Wasser und neutralem Cyansilberkalium unlöslich sey. Uebrigens wird, nach Nappier's Untersuchungen, das Cyankalium nicht zersetzt, so lange Silber in der Lösung ist.

Man kann auf diese Weise auch Entgolden ꝛc., wenn man den hiezu be-

stimmten Gegenstand als Anode gebraucht; es ist dieses sehr zweckmäßig, wenn ein Gegenstand durch unrichtige Leitung des Vergoldens eine schwärzliche Farbe annimmt. Uebrigens löst Cyankalium Gold auch ohne galvanischen Strom auf.

Was die anzuwendende Stromstärke betrifft, so hat die Erfahrung gelehrt, daß dieselbe nur sehr gering sein dürfe und zwar so, daß sich an dem zu überziehenden Metalle noch keine, oder doch nur kaum merkliche Gasblasen zeigen. Langsamer bewirkte Ablagerungen sind compacter und haften fester an der Unterlage*). Man hat anfänglich an der Haltbarkeit der galvanischen Ueberzüge gezweifelt und Becquerel (Dingler's Journ. 89. Bd. aus Comptes rendus, Juli 1843) machte sogar den Vorschlag das zu vergoldende Stück zuerst mit salpetersaurem Queckſilber zu amalgamiren, hierauf zu vergolden, dann dem gewöhnlichen Färbeverfahren zu unterwerfen, da die hiebei angewendete Hitze zur Verjagung des Queckſilbers zureiche. Man hatte offenbar anfänglich das schlechte Halten der galvanischen Vergoldungen nicht der mangelnden Dicke der Goldschicht zugeschrieben. Baral (Dingler's Journal, 105. Bd., aus Comptes rendus, Mai 1847) löste im Feuer und galvanisch vergoldete Gegenstände auf, um das Goldhäutchen untersuchen zu können, und fand, daß das galvanische mehr Continuität habe, glaubt aber dennoch, daß es weniger hafte, weil sich bei der Feuervergoldung ein Doppelamalgam bilde und nach der Abtreibung dann Theile des einen Metalls in das andere hinauf reichten. Allein wenn man das Festhalten plattirter Ueberzüge betrachtet und daß der im Feuer gebildete Ueberzug poröser, also auch abnutzbarer ist, so wird man sich, abgesehen von der Erfahrung, recht wohl über die Haltbarkeit der galvanischen Vergoldung beruhigen können. Die Erfahrung bestätigt übrigens die Haltbarkeit guter Vergoldungen — so stark als Feuervergoldung — vollkommen. Galvanisch versilberte Gegenstände werden mit der Zeit gerne gelb, es lasse sich dieses aber dadurch verhüten, daß man die Gegenstände nach dem Versilbern längere Zeit in warmem Wasser liegen lasse und sauber darin wasche (Dr. Philipp, Dingler's Journal, 92. Bd. aus dem Berliner Gewerb-, Industrie- u. Handelsblatt 1844 Nr. 2.), und gelb gewordene Gegenstände werden wieder weiß, wenn man sie mit einem Teige aus Wasser und Weinsteinkohle bestreiche, in der Wärme trockne und dann mit Wasser und Weinstein erhitze, gut abspüle und trockne (Elsner, Dingler's Journal, 93. Bd.). Mouray dagegen empfiehlt das Bestreichen der Gegenstände mit Borax und Erhitzen derselben bis zum Fließen

*) Ich habe übrigens unter stürmischer Gasentwicklung bis 1 Milligram Gold auf den Quadratcentimeter niedergeschlagen, es nachher mit dem Finger, dann mit Leinwand und zuletzt mit der Kratzbürste behandelt, ohne dabei mehr als etwa $^1/_{12}$ des aufgetragenen Goldes herunter zu bringen. Bei 2 Milligr. pro Quadratcentimeter ging bei gleicher Behandlung bis $^1/_4$ des Goldes los.

des Borax (Dingler's Journal, 97. Bd., aus dem Technologiste, Juni 1845).

In Bezug auf die anzuwendenden Elektricitätsquellen kommt nicht nur ihre Beständigkeit, sondern auch der Kostenpunkt, und die Unbequemlichkeit, die z. B. in Werkstätten durch die salpetrichte Säure der Bunsen'schen und Grove'schen Elemente hervorgerufen wird, in Betracht. Gewöhnlich wendet man für kleine Gegenstände einen einfachen Apparat mit einer Thierblase als Scheidewand an und Kochsalz oder Cyankaliumlösung beim Zink und nimmt den zu überziehenden Gegenstand als das andere Glied. Im Allgemeinen ist aber eine besondere Zersetzungszelle vorzuziehen, schon wegen der Anoden von Gold ꝛc., und dann eine gewöhnliche Daniel'sche Kette. Herzog Max von Leuchtenberg, dessen galvanoplastische und Vergoldungswerkstätte an Großartigkeit keiner nachsteht — die Elkington's arbeiten mehr mit Silber —, wendet Elemente aus Eisen- und Cohksplatten an, welche mit Schwefelsäure geladen werden, wo der erzeugte Eisenvitriol die Unkosten ganz decke (Dingler's Journal, 97. Bd., aus Technologiste, August 1845). Es werden diese Batterien nur je Montags geladen, um dann mit einigen Auffrischungen Tag und Nacht gebraucht zu werden, bis Samstags, indem sie Nachts zum Zersetzen der erschöften Goldlösungen verwendet werden, da nicht mit Goldanoden gearbeitet wird, weil diese ein todtes Kapital bilden und die Arbeiter in Versuchung führen. Die Goldlösungen werden in der Anstalt so bereitet, daß 1 Theil Gold in Königswasser gelöst und trocken gedampft, dann 1 Theil kaustisches Kali gelöst und dem Golde zugesetzt, die Mischung erwärmt und dann filtrirt wird. Der Herzog hält solche Goldlösungen als die besten zum Arbeiten, welche auf 1 Decilitre 1 — 0,25 Grammen Gold enthalten. Von der Großartigkeit dieser Anstalt wird man sich eine Vorstellung machen, wenn man erfährt, daß (Dingler's Journal, 105. Bd. aus Bulletin de l'Academie de St. Petersbourg, Nr. 130.) die in drei mit Kautschuck ausgelegten hölzernen Behältern vorräthige Goldlösung zusammen 5500 Litres betrug, mit etwa 80 Pfd. Gold, wovon in der Zeit, in welcher die 204 Paare kupferner Kapitäler und Basen für die Isaakskirche in Gesammtgewicht von 7200 Pud à 16 Kilogr. und circa 1300 □Metre Oberfläche vergoldet wurden, monatlich zu Zeiten bis 60 Pfund ausgeschieden wurden. Es wurden in 3 Jahren 280 Kilogramm Gold verbraucht. An jedem Tage wurden 8 Elemente für gewöhnlich als ein einzelnes Paar, aber bei schon erschöpften Lösungen zu einer zweipaarigen Säule verbunden, angewendet oder man half durch Vergrößerungen der Anode ab. War der Strom zu stark — zeigte sich Gas an der Kathode oder wurde der Gegenstand dunkelfarbig, so half man wohl auch durch Vergrößerung der zu vergoldenden Fläche, d. h. durch Zulegen weiterer Gegenstände. Immer wurden auch hier die Gegenstände, wenn sie ein mattes An-

ſehn zeigten, herausgenommen, und mit der Kratzbürſte behandelt, was bis dreimal wiederholt wurde, um gehörige Vergoldung zu erlangen.

Die Anwendung von Magnetelektriſirmaſchinen ſcheint im Großen bedeutende Vortheile zu gewähren. Sturgeon wendete ſie zwar, wie es ſcheint, zuerſt an; aber Woolrich betrieb das Vergolden ꝛc. damit zuerſt fabrikmäßig auf ein Patent, welches ihm die Elkington's abkauften (Dingler's Journal, 105. Bd., aus Bulletin de St. Petersbourg, Nr. 130.), und durch ihn eine Maſchine bauen ließen für ihre Fabrik neuſilberner Gegenſtände, welche bloß zum Verſilbern täglich 7 ruſſiſche Pfund Silber verbraucht. Die Magnetelektriſirmaſchine erhielt 8 Hufeiſen aus je 12 Stahllamellen, die drittehalb Zoll breit und zuſammen vier Zoll dick ſind, vom Pol bis zur Höhe des Bogens beträgt die Länge drittehalb Fuß und die Schenkel haben im Lichte 6 Zoll Abſtand. Die Eiſenkerne der Anker ſind 6 Zoll lang und drittehalb Zoll dick und ſtehen radial auf einem Rade von drittehalb Fuß Durchmeſſer, gegen welches ebenfalls radial die Magnete gerichtet ſind. Das Rad ſoll 700 Umdrehungen in der Minute machen und der Strom 16 — 20 Unzen Silber in der Stunde ablagern.

Bei den großartigen Arbeiten des Herzogs von Leuchtenberg wurde die Quantität des abgeſetzten Goldes auf chemiſchem Wege beſtimmt, indem man aus den geeichten Vergoldungsgefäßen vor und nach dem Vergolden einen Decilitre heraus nahm und dieſen unterſuchte, wozu eigene ſehr zweckmäßige Methoden erfunden und bekannt gemacht wurden (Dingler's Journal, 99. Bd., aus Bulletin scient. figur. de St. Petersbourg). Daß bei einer ſolchen Methode nur Platinanoden gebraucht werden können, iſt für ſich klar. Kleine Gegenſtände werden vor und nach dem Vergolden gewogen. Beides iſt für den gewöhnlichen Vergolder übrigens unpraktiſch, und es bleibt ihm nichts anders übrig, als aus dem beginnenden Mattwerden polirter Stellen die Stärke der Vergoldung zu erkennen. Würde eine einfache Buſſole eingeſchaltet, ſo ſollte ſich dieſe doch wohl durch einige Verſuche auf den Goldniederſchlag für die Minute näherungsweiſe eichen laſſen, auch wenn es keine Tangentenbuſſole wäre. Jedenfalls würde eine ſolche dem Arbeiter ſtets den Zuſtand des Stromes ſicher anzeigen, während er jetzt es nicht bemerkt, wenn derſelbe ſchwächer zu werden beginnt, und nur an der Gasentwicklung und dem Braunwerden, wenn er zu ſtark iſt.

Frankenſtein führte eine neue Methode, galvaniſch zu vergolden, ein, die darin beſteht, daß das zu vergoldende Stück mit Zink in Berührung gebracht wird — größere Stücke an mehrern Stellen und mit dieſem eingetaucht wird. Das Zink wird ebenfalls vergoldet oder verſilbert und die Menge des Niederſchlags ſoll, nach Fehling (Dingler's Journal, 78. Bd.), ziemlich der Zeit proportional ſeyn. Es wird in bis 60° erhöhter Temperatur gearbeitet und der Gegenſtand muß alle 10 — 20 Minuten herausge-

nommen und gereinigt werden. Als Goldlösungen empfahl Frankenstein 6 Theile Blutlaugensalz, 4 kohlensaures Kali, 10 Wasser, 1 Chlorgold, und für Silber: 5 Blutlaugensalz, 5 kohlensaures Kali, 2 Kochsalz, 5 flüssiges Ammoniak, 1 Chlorsilber. Die Lösung wird $^1/_2$—$^3/_4$ Stunden gekocht und dann decantirt. Diese Methode ist vielfältig in die Werkstätten übergegangen und es wird dabei die gewöhnliche Cyangoldkaliumlösung angewendet, unter Zusatz von etwas Aetzkali oder Natron, und kleinere Gegenstände, Löffel u. dgl., nur allseitig mit weichen Messingdraht locker umwickelt. Frankenstein hat auf diese Weise (Dingler's Journal, 90. Band, aus Inneröstreichischem Gewerbeblatt.) ein Kirchthurm-Kreuz nebst Knopf stückweise vergoldet, von zusammen 50 □Fuß Oberfläche je mit 3 — 4 Eintauchungen von 5 — 10 Minuten und dazu 25 Ducaten niedergeschlagen. Die Goldhaut war nach solcher Behandlung matt, was auch bei $^1/_2$ Ducaten pr. Quadratfuß immer eintritt. Eine solche Vergoldung kommt nach den früher angeführten Untersuchungen von Dumas einer bessern Feuervergoldung gleich *). Becquerel hat (Dingler's Journal, 92. Bd., Comptes rendus, März. 1844, Nr. 2.) zahlreiche Versuche über die Fällung der Metalle und ihrer Lösungen durch andere Metalle gemacht, selbst auf Zink, die er zum Theile wenigstens den durch Unreinigkeiten im käuflichen Zink hervorgerufenen galvanischen Strömen zuschreibt. Adhärirende Metallniederschläge erhält er jedoch vorzugsweise nur unter Berührung mit Zink, und wenn das zu fällende Metallsalz mit einem Alkalisalze zu einem möglichst neutralen Doppelsalze verbunden war. In saurer Flüssigkeit erhält man auch bei Anwendung besonderer Zersetzungszellen keine anhaftende Niederschläge. Schließlich sey hier noch der Bestrebungen erwähnt, Seidenfäden oder Seidengewebe galvanisch zu vergolden, worauf — freilich ohne Beeinträchtigung ihrer Biegsamkeit und ihrer Stärke — der preußische Gewerbverein einen Preis setzte, der aber bis jetzt, meines Wissens, noch nicht gewonnen wurde.

183 **Aetzen durch Galvanismus.** Spencer scheint diesen Gedanken zuerst verfolgt zu haben, er nahm darauf im August 1840 ein Patent. Das Aetzen nahm er in einer besondern Zelle vor, wo die zu ätzende Platte von der entgegenstehenden Kupferplatte durch eine poröse Scheidewand getrennt war und als Anode diente. Bei der als Kathode dienenden Kupferplatte wurde stets Kupfervitriol, bei der zu ätzenden Platte aber eine nach dem Metalle verschiedene Flüssigkeit angewendet (Dingler's Journal

*) Bei der Umwicklung mit Messingdraht, an dessem Ende etwas Zink ist, fällt die Vergoldung röthlich aus, wohl in Folge der Auflösung des Kupfers aus dem Messing. Eisen habe ich so ohne vorherige Verkupferung vergoldet.

80. Bd.). Man wendete für Kupfer verdünnte Schwefelſäure an; allein es ſcheint nicht, daß dieſes Verfahren wirklich in die Praxis überging, da, nach Haſſe (Dingler's Journal 84. Bd., aus Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen 1841, 5), die Aetzung gegen den Rand hin immer ſtärker iſt als in der Mitte, und derſelbe Uebelſtand um ſolche Stellen herum ſich wiederholt, die man gedeckt hat, weil ſie tief genug geätzt waren. Grove (Dingler's Journal 82. Bd., aus Philosophical Magazine Sept. 1841) ätzte Daguerreotypplatten auf folgende Weiſe: Er nahm eines ſeiner Elemente, deſſen Platten ſo groß waren als die zu ätzende Platte, brachte dieſe in einen hölzernen Rahmen in 0,2 Zoll Abſtand, einer Smee'ſchen verplatinten Platinplatte gegenüber, und tauchte dieſes in verdünnte Salzſäure während 25—30 Secunden, nachdem vorher die Verbindung mit dem Elemente hergeſtellt war. Die Daguerreotypplatte wurde vorher am Rande und hinten mit Schellack gefirnißt und nach dem Aetzen in Ammoniaklöſung mit Baumwolle ſachte gewaſchen, in reinem Waſſer geſpült und getrocknet. Die feinſten Linien waren zwar verſchwunden, allein die Platte gab doch gute Abdrücke. Grove hält ſie jetzt beſonders geeignet zu galvanoplaſtiſchen Abzügen, um dann mit dieſen zu drucken.

Um die gleiche Zeit haben ſich auch Steinheil in München und Fizeau in Paris mit dem Aetzen von Daguerreſchen Platten beſchäftigt. Die Platten von Fizeau hielten 30—40 Abdrücke aus.

Nobili's Ringe. Die Verſuche Nobili's ſind älter als die 184
Periode, auf welche ich mich beſchränke, und gehen zum Theil bis zum Jahre 1826 zurück. Er verfolgte die Sache mit vielen Flüſſigkeiten und auf Platten von ſehr verſchiedenem Metalle bald am poſitiven, bald am negativen Pole. — Eine tabellariſche Zuſammenſtellung der Verſuche von Nobili findet ſich in Poggd. Annal. Bd. X u. daraus in Dingler's Journ. 94. Bd.

Nobili hatte die ſchönſten Farben aus eſſigſaurem Blei erhalten, wenn er die Metallplatte am poſitiven Pole anbrachte und den negativen Pol in die Flüſſigkeit tauchen ließ. Er ſoll auch monochromatiſche Ueberzüge zu Stande gebracht, aber dieſes Niemanden mitgetheilt haben. Böttger gelang es, ſolche Ueberzüge auf Platin zu erhalten aus verſchiedenen Manganoxydulſalzen (hippurſaurem, eſſigſaurem, bernſteinſaurem), wobei die am poſitiven Pole angebrachte Platinplatte in die Löſung gelegt und die negative, ebenfalls kreisförmige Platte ihr gegenüber gehalten wurde. Daß auch der negative Pol in eine Platte endige, ſei aber nicht nöthig; man erhalte mit den genannten Salzen nur einfarbige, nach und nach die Farbe wechſelnde Töne, wenn auch nur ein Platindraht angewendet werde, und könne den Verſuch bei einer beliebigen Farbe unterbrechen. Nur

Manganchlorür gab farbige Ringe, wie essigsaures Blei. Böttger hatte in seinen Lösungen 1 Theil Salz auf 12—16 Theile Wasser und eine vierelementige Säule. Böttger gab auch zur bequemern Ausführung an, man solle einen kurzen Platindraht in die Mitte einer runden Platinplatte löthen und eine Glasschale in der Mitte durchbohren und diesen Draht durch Kork durch die Oeffnung führen, so daß er kurz über den äußern Boden der Schale hervorrage und die Platinplatte in der Mitte des inneren Bodens liege. Die Glasschale soll sodann auf ein Brett mit eingebohrtem Queckſilbernapf gestellt werden, in welchen der Draht der Schale und durch das Brett ein anderer Draht reiche, um so den positiven Strom einzuleiten.

Elsner (Gewerbeblatt für Sachsen 1842 Nr. 29; Dingler's Journ. 85. Bd.) wendete Fechner's einfaches Verfahren, Nobilische Ringe zu erzeugen, auf Stahlplatten an; er begoß sie mit saurem essigsauren Kupfer (Grünspanlösung in Essig), berührte sie an verschiedenen Stellen mit einem Zinkstäbchen, trocknete sie ab und erwärmte sie über einer Weingeistlampe, wobei sich verschiedene Farben nach und nach entwickeln, und man bei einer beliebigen Farbe innehalten kann. Den dem Aufsatze beigefügten theoretischen Betrachtungen scheinen nicht gerade klare Gedanken zu Grunde zu liegen, und sie können daher um so eher umgangen werden.

Becquerel wiederholte (Comptes rendus, Fevrier 1844 N. 6.; Dingler's Journ. 91. Bd.) die Versuche von Nobili auf mannigfaltige Weise und fand namentlich prachtvolle Farbenniederschläge auf verschiedene Metalle, wobei er diese als positive Pole in eine Lösung von Bleiglätte in Aetzkali brachte und als negativen Pol einen Platindraht oder eine kleine Platinplatte anwandte. Es scheidet sich am Platin Blei und am positiven Pole Bleihyperoxyd ab, welches die prächtigen Farbenreihen giebt. Becquerel kochte die fein gepulverte Bleiglätte längere Zeit in einer Aetzkalilösung von 20—22 Grad Baumé und nahm sechs Daniell'sche Elemente zur Säule verbunden. Die Farben entwickeln sich jedoch bei schwächeren Lösungen und weniger Elementen sehr schnell, wenn man kleine Platinbleche anwendet; nur bei ganz feinen in Glas bis an die Spitze eingeschmolzenen Platindrähten sind mehr Elemente nöthig; man erhält aber dabei auch die Ringe schöner rund.

Becquerel will durch Anwendung vieler Drähte, die wie Strahlen aus der Glasröhre aus einander und gegen die positive Metallplatte laufen, gleichförmige Töne erhalten haben. Diese Farben halten sehr fest gegen feinere Putzmittel, wie Englischroth, verändern sich aber, wenn sie sauren oder ammoniakalischen Dämpfen ausgesetzt sind. Becquerel empfiehlt dagegen folgenden Firniß, von dem man warm nach einander zwei Schichten auftragen soll: ½ Litre Leinöl, 4—8 Gramm fein gepulverte Bleiglätte und 2 Gramm Zinkvitriol werden mehrere Stunden

lang mäßig erhitzt und dann filtrirt. Allein nach Becquerel's eigener Angabe verändern ſich dabei einzelne Farben. Das Gleiche iſt der Fall bei Schellackfirniß. Becquerel hat Verſuche mit Gold, Kupfer, Silber (gab keine ſchönen Farben), Platin, Argentan, Stahl angeſtellt; auch auf Glockenmetall gehen dieſelben ſehr gut, Zinn bedarf jedoch vorher einer, wenn auch noch ſo dünnen Vergoldung.

Der jüngere Becquerel hat (Ann. de Chim. et de Phys., März 1845, Dingler's Journal 96. Bd.) darauf aufmerkſam gemacht, daß die Farbenordnungen, die man ſo erhalte, jenen des durchgelaſſenen Lichtes entſprechen, und auch behauptet, die Dicke der Schichten vom Mittelpunkte der Ringe aus nehme im umgekehrten Verhältniſſe der Halbmeſſer ab. Zur Nedden (Dingler's Journal 94. Bd.) ſuchte nun die Anſicht zu beſtreiten, als rührten dieſe Farben überhaupt von den »dünen Blättchen« her, und will ſie von den Farben der niedergeſchlagenen Verbindungen und der Metalle ableiten. Allein, wenn man auch den Einfluß dieſer beiden Urſachen auf den Ton der einzelnen Farben nicht beſtreiten will, ſo ſind die Farbenordnungen, wie man ſie z. B. auf Argentan erhält, verglichen mit jenen eines keilförmigen Gypsblättchen, doch ganz unzweifelhaft jene, die man bei gekreuzten Spiegeln des Polariſationsapparates erhält.

Gegen die oben angeführte Behauptung Edmund Becquerel's, daß die Dicke der Schichten umgekehrt wie die Halbmeſſer der Ringe ſich verhalte, welche Becquerell auf theoretiſche Betrachtungen gegründet und an zwei ausgeſuchten Platten durch Meſſungen beſtätigt gefunden, traten Du Bois-Reymond und Benz auf (Poggd. Annal. 71. Bd.); Erſterer leitete aus einer genauern theoretiſchen Unterſuchung das Geſetz ab, daß die Dicke der durch die elektriſchen Ströme in verſchiedenen Entfernungen von der negativen Spitze niedergeſchlagenen Schichte umgekehrt wie die Kuben der Halbmeſſer ſich verhalten müſſe, und Benz wies durch Verſuche nach, daß dieſes wirklich ſo ſei. Der Widerſpruch der beiderſeitigen Verſuche iſt noch nicht gelöſt.

Die prachtvollen Farben, die man auf die angegebene Weiſe erhält, werden bereits in den Gewerben benutzt zum Ueberzuge von Tiſchglocken, Fidibusbechern und andern kleinen aus Meſſing gedrückten Waaren. Man bereitet dabei die Bleioxydätzkalilöſung aus 1 Aetzkali auf 5 — 6 Waſſer, bringt es nebſt fein gemahlener Bleiglätte im Ueberſchuß in einem irdenen Gefäß ins Kochen und unterhält dieſes etwa ½ Stunde lang unter beſtändigem Umrühren, worauf die Löſung filtrirt und in einem wohl verſchloſſenen Gefäße aufbewahrt wird. Beim Gebrauch gießt man die Löſung in ein Gefäß von Blei oder Meſſing, das den zu überziehenden Gegenſtand ſehr bequem faſſen kann, verbindet dieſen mit dem poſitiven Pole einer dreipaarigen Daniell'ſchen Kette, ſenkt ihn in die Bleilauge und verbindet jetzt erſt

den negativen Pol mit der Außenseite des Gefäßes. Man muß die Stromstärke mittelst der Ladungsflüssigkeiten durch einige Versuche so reguliren, daß die Bildung der Ringe — wovon übrigens gewöhnlich nur die zwei ersten Systeme schön entwickelt werden — etwas langsam geschieht, damit man sicherer bei einer bestimmten Färbung den Strom unterbrechen kann. Messingene Gegenstände machen hierbei insofern eine Ausnahme, als sie nur nach und nach mit dem scharfem Rande voraus in die Lösung bei schon geschlossener Kette gesenkt werden dürfen, wie schon Becquerel bemerkt hatte. Alle Gegenstände müssen rein geputzt sein, entweder mit Wienerkalk oder mit Englischroth, und dürfen nach dem Putzen nicht mehr mit den bloßen Fingern berührt werden. Firniß wird gewöhnlich nicht angewendet.

185 **Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen auf galvanischem Wege.** Diese Aufgabe hatte sich vorzugsweise Becquerel gestellt; allein so großartig die von ihm anfänglich eröffneten Aussichten waren, um so bedeutend er von verschiedenen Seiten durch Zusendungen unterstützt worden zu sein scheint, so ist doch im Ganzen kein erkleckliches Resultat gewonnen worden. So läßt ein Bericht in den Comptes rendus von 1840 (Dingler's Journal 77. Bd.) die Vortheile des neuen Verfahrens im glänzendsten Lichte erscheinen, allein obwohl von gar mancherlei elektrischen Wirkungen gesprochen wird *), so erfährt man über den in Rede stehenden Gegenstand eigentlich weiter nichts, als daß die Methode nach den Erzen verschieden sei, und daß eine geringe Röstung vorhergehen müsse, wenn das Erz nicht reguliniſches Silber oder Silbersulphurid enthalte, denn auf Silbererze beschränkt sich die Sache vorerst, allein es sollte auch der Reihe nach an die andern Metalle kommen. Ueberhaupt hat Becquerel die Art, durch Hereinziehen von zur Sache ganz und gar nicht gehörigen Ausschweifungen das Verständniß seiner Aufsätze außerordentlich zu erschweren und die Geduld des Lesers zu ermüden.

In einer späteren Nachricht der Comptes rendus von 1842 1. Semester Nr. 4 (Dingler's Journal 84. Bd.) kommt Becquerel nach einer

---

*) Zur Probe: Versuche, welche sich auf die Geschwindigkeit der Elektricität gründen (diese Geschwindigkeit beträgt über 90,000 Meilen in der Secunde, und ist also größer als die des Lichtes), haben gezeigt, daß die mit den Atomen der Körper verbundene Quantität Elektricität ungeheuer groß ist. Die Elemente eines einzigen Grammes Wasser scheinen nach den Versuchen eines berühmten Physikers 80,000 Ladungen einer elektrischen Batterie zu enthalten, die aus acht gleichen Flaschen von 0,2 Meter Höhe und 0,6 Meter Umfang besteht, wozu 30 Umdrehungen einer kräftigen Elektrisirmaschine erforderlich sind. Wenn also nur diese ganze Menge von Elektricität plötzlich frei würde, so wäre sie hinreichend, ein Haus mit dem schrecklichsten Knalle zu zertrümmern u. s. w.

ähnlichen Einleitung an ſeine Verſuche, Gold auszuſcheiden. Sein Verfahren iſt folgendes: man bereitet eine Löſung des Erzes in Salzſäure und eine andere ſalzſaure Löſung, welche alle übrigen mit dem Golde vorkommenden Metalle in demſelben Verhältniſſe enthält, wie ſie ſich im Erze finden, beide Löſungen von gleicher Dichtigkeit; dieſe beiden Löſungen dienen als erregende Flüſſigkeiten einer einfachen Kette, die Goldlöſung in dem innern Gefäße mit einem Thonpfropfen als Boden und einer Platinplatte, die der andern Metalle im äußern Gefäß mit einer Kupferplatte. Die Kette werde ſo lange geſchloſſen, bis alles Gold auf das Platin abgelagert ſey. Aus der Gewichtszunahme des Platins ſchloß Becquerel auf die Menge des Goldes. Es möchte jedoch die Gewinnung des Goldes vom Platin bei der Anwendung im Großen wieder mancherlei Schwierigkeiten haben, wenn man auch nicht darauf ausgehen wollte, die Goldlöſung jedesmal ganz zu erſchöpfen.

Ein ähnlicher Vorſchlag wurde ſchon früher (Dingler's Journal 80. Bd., aus dem Mechanics Magazine N. 911) von einem Hrn. Byer gemacht, dem aber Martin Roberts die Priorität beſtritt, jedoch mehr in der Abſicht, Erze quantitativ zu probiren, nachdem ihre qualitative Analyſe bekannt iſt. Das Erz wird nach gehöriger Zubereitung gelöſt und die Löſung als die eine Flüſſigkeit, verdünnte Salz- oder Schwefelſäure als die andere in einer einfachen Kette verwendet. Als Metalle ſollen immer nur zwei in der Spannungsreihe zunächſt ſtehende genommen werden, und zwar als negatives dasjenige Metall, welches ausgefällt werden ſoll. Hat man z. B. unter Anderm Eiſen in der Flüſſigkeit, ſo wird Eiſen und Zink genommen, und eine gewogene Portion Erzlöſung zur gewogenen Eiſenplatte gebracht und die Kette bis zur Erſchöpfung an Eiſen, welches ſich allein auf der Eiſenplatte niederſchlagen ſoll, geſchloſſen. Hat man Kupfer in der Löſung, ſo nimmt man Kupfer und Eiſen, und ſo könne man ſucceſſive verſchiedene Metalle ausſcheiden und aus der Gewichtszunahme des negativen Metalls die Menge beſtimmen.

In den Comptes rendus, Mai 1846 (Dingler's Journal 101. Bd.), giebt Becquerel ein Verfahren an, einige in Waſſer unlösliche Silbererze zu zerſetzen. Er bringt dieſelben mit einer Kochſalzlöſung in ein mit dem unvermeidlichen Thonpfropfen verſehenes Glas, welches in ein zweites Glas mit Kochſalzlöſung geſtellt wird; in letzterem ſteht Zink, von welchem ein Silberdraht zu dem Erze reicht. Das Silber wird reducirt, indem das durch Zerſetzung des Chlornatriums frei gewordene Natrium das Chlor des Chlorſilbers z. B. aufnimmt und ſo das Silber in einem mehr oder weniger lockern Zuſtande zurückläßt. Das Silber war um ſo compacter, je ſchwächer der Strom war, d. h. je verdünnter die Kochſalzlöſung und je enger die mit Thon zu verſtopfende Oeffnung genommen wurde;

es dauerte aber immer eine bis mehrere Wochen, bis ein nur mäßiges Stück Silber reducirt war.

Allein auch hier war Becquerel nicht der Erste, der diese oder doch eine sehr ähnliche Methode bekannt machte, indem der Mechanikus und Goldprobirer Oechsle in Pforzheim schon 1842 im 86. Bande von Dingler's Journal folgende Methode zur Reducirung des Chlorsilbers angab. Chlorsilber wird mit einer gesättigten Kochsalzlösung zu einem dicken Brei angerührt und dieser in eine poröse Zelle gebracht, welche in einem Gefäße mit auf $^1/_{20}$ verdünnter Schwefelsäure steht; in letztere kommt Zink, zum Chlorsilber Platin oder Silber, und man läßt die Kette so lange geschlossen, bis beim Umrühren sich in dem grauen Silberschlamm keine milchichten Streifen mehr zeigen, wäscht dann aus und trocknet. Ein ähnliches Verfahren ist dann wieder in Poggendorf's Annalen 1848 Nr. 11 beschrieben.

James Nappier (Dingler's Journal 97. Bd., aus Repertory of Patent-Inventions, Juli 1845) will die Metalle im geschmolzenen Zustande reduciren, indem er die Schwefelmetalle geröstet mit den nöthigen Flußmitteln in einen Graphittiegel bringt, der innen mit Ausnahme des Bodens mit Lehm überstrichen wurde. Wenn alles im Flusse ist, bringt er auf die Masse eine an einen Eisenstab genietete Eisenplatte und außen an den Tiegel einen andern Eisenstab, beide in Verbindung mit den betreffenden Polen einer Batterie.

Um Kupfer metallisch zu gewinnen, nahm William Ritchie 1844 Patent auf ein Verfahren, welches in der Hauptsache mit dem in den Comptes rendus von 1845 von Dechaud und Gautier de Claubry beschriebenen übereinkommt (beide in Dingler's Journal 97. Bd.) und im Wesentlichen darin besteht, aus den Schwefelverbindungen des Kupfers Kupfervitriol zu gewinnen und diesen galvanisch zu zersetzen. Der Apparat hierzu besteht in großen Trögen mit mehrern Abtheilungen hinter einander, deren jede durch Pappe in zwei Theile getheilt ist, in deren einem Kupfervitriol und eine Bleitafel — verbleites Eisenblech —, in der andern Eisenvitriol und eine gußeiserne Platte stehen, die zusammen eine einfache Kette bilden. Die Erfinder glauben auf jeden Quadratmeter Platte in 24 Stunden ein Kilogramm Kupfer zu erhalten und von dem in der Lösung befindlichen Kupfer 50 Proc. in Platten, 25 Proc. in Körnern und den Rest in fein zertheiltem Zustande zu erhalten. Die Flüssigkeiten werden den Apparaten aus großen Behältern stets in der erforderlichen Concentration zugeführt, so wie die geschwächte Kupfervitriollösung und die gesättigte Eisenvitriollösung stets abgeführt. Ueber den eigentlichen Nutzen dieses Verfahrens mangeln bis jetzt noch genauere Angaben.

Sechster Abschnitt.

Magnetismus und Elektromagnetismus.

Tragkraft hufeisenförmiger Magnete. Ueber die Tragkraft huf- 186
eisenförmiger Magnete hat Häcker in Nürnberg zahlreiche Versuche angestellt und in Poggendorff's Annalen veröffentlicht (57. Bd. S. 321).

In der Regel nimmt die Tragkraft der Magnete in Folge wiederholten Abreißens des Ankers ab; sobald dies der Fall ist, kann natürlich von einer constanten Tragkraft des Magnetes keine Rede sein, denn eine solche ist diejenige, welche ihm bleibt, wenn auch der Anker wiederholt abgerissen wird. Häcker hat nun Magnete dargestellt, welche in der That die Eigenschaft haben, einen gewissen Grad von Magnetismus unverändert beizubehalten, wie oft man auch den Anker abreißen mag.

Ueber die constante Tragkraft solcher Magnete hat er zahlreiche Versuche angestellt, unter denen wir folgende hervorheben, welche sämmtlich mit Hufeisenmagneten angestellt wurden, die nur aus einer einzigen Lamelle bestehen.

Gewicht des Magneten.	Tragkraft.
1 Loth.	1 Pfund.
4 »	3 »
8 »	4,8 »
16 »	7 »
1 Pfund.	12 »
2 »	18 »
4 »	26 »
7 »	42 »
12 »	65 »
20 »	100 »
40 »	150 »

Die Tragkraft sämmtlicher Magnete wird größer sein und fast das Doppelte betragen, wenn der Anker nach dem Magnetisiren nicht absichtlich mehrmals abgerissen worden wäre. In diesem Falle ist jedoch die Kraft nicht constant, sondern nur vorübergehend.

Man sieht aus obiger Tabelle sehr deutlich, daß die Tragkraft des Magneten keineswegs der Masse proportional wächst, sondern daß sie für größere Magnete verhältnißmäßig geringer wird. So trägt ein Magnet von 1 Loth das 32fache, ein Magnet von 40 Pfund nur etwas mehr als das 3fache seines Gewichtes.

Häcker hat nun noch kleinere Magnete gemacht, ein solcher, welcher

$^1/_{16}$	Loth	schwer	war,	trug	7	Loth.
$^1/_{32}$	»	»	»	»	4	»
$^1/_{64}$	»	»	»	»	2,5	»
$^1/_{120}$	»	»	»	»	1,8	»

Das Verhältniß des Tragkraft eines Magneten zu seiner Masse hat Häcker durch die Formel

$$M = a \sqrt[3]{P^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

ausgedrückt, in welcher M die Tragkraft und P das Gewicht des Hufeisenmagneten bezeichnet, a aber ein constanter Factor ist, für welchen man als Mittel aus den besten Versuchen Häcker's den Zahlenwerth 40 setzen muß, wenn P und M in Lothen, hingegen 12,6 wenn sie in Pfunden ausgedrückt sind. Nach dieser Formel berechnen sich folgende zusammen gehörige Werthe von Gewicht und Tragkraft der Häcker'schen Hufeisenmagnete.

Gewicht.	Tragkraft.
4 Loth.	3 Pfund 4 Loth.
8 »	4 » 31 »
16 »	7 » 28 »
1 Pfund.	12 » 17 »
2 »	19 » 28 »
4 »	31 » 19 »
7 »	45 » 28 »
12 »	65 » 22 »
20 »	92 » 12 »
40 »	146 » 18 »
60 »	192 » 5 »
100 »	270 » 3 »
1000 »	1253 » 24 »
1972 »	1972 » — »

Dem durch obige Formel ausgedrückten Gesetze ganz entsprechend ist die Tragkraft eines aus mehreren Lamellen zusammengesetzten Magneten, nicht die Summe der Tragkräfte der einzelnen. Fünf zehnlöthige Lamellen, deren jede eine Tragkraft von 3,7 Pfund hatte, zu einem einzigen Magneten vereinigt, hatten nur eine Tragkraft von 10,5 Pfund, während die Summe der Tragkräfte der einzelnen Lamellen 18,5 beträgt.

Wenn auch die Häcker'schen Magnete durch wiederholtes Abreißen des Ankers nicht an Kraft abnehmen, so wird ihr Magnetismus doch durch mancherlei Einwirkungen geschwächt. Man darf den Magneten nicht erhitzen, nicht fallen lassen, nicht durch Schlagen oder Stoßen erschüttern ꝛc. Das Anlegen des Ankers ist zu empfehlen, überflüssig aber ist es, daß der Magnet stets belastet sei.

Häcker giebt über die Art, wie er seine Magnete verfertigt hat, über das Material, aus denen sie gemacht wurden, über Härtung und Anlassen gar nichts an; jedenfalls sind seine Magneten von ausgezeichneter Qualität, und wenn andere schlechtere Magnete der Art nach auch ähnliche Resultate geben, d. h. wenn auch für sie die Gleichung 1) gilt, so ist doch sicherlich der Werth des Factors a von der Natur der Stahlsorte und von dem Grade der Härtung abhängig. Sehr wünschenswerth wäre es, wenn wenigstens für mehrere Stahlsorten der Werth von a, wie er den verschiedenen Graden des Anlassens entspricht, genau ermittelt würde. Jedenfalls liefert uns die Häcker'sche Untersuchung ein treffliches Material, um die Güte eines Magneten zu beurtheilen.

Logeman und Wetteren in Harlem haben es in der Darstellung kräftiger Stahlmagnete noch weiter gebracht. Vor kurzem schickte mir Herr Logeman einen Hufeisenmagneten, der bei einem Gewicht von nicht ganz 1 Pfund (460 Gramm) eine Tragkraft von 26 Pfund (13 Kilogramm) hat, also mehr als das doppelte von dem, was man nach der Formel berechnet; jedenfalls sind demnach die Magnete der Harlemer Mechaniker die kräftigsten, welche bis jetzt dargestellt wurden.

»Die Art und Weise der Verfertigung«, schreibt mir Herr Logeman, »ist das Resultat der in der letzten Zeit von Herrn Elias angestellten »und absichtlich noch nicht veröffentlichten Versuche«.

Mir scheint die größte Schwierigkeit, welche sich der Herstellung kräftiger Elektromagnete entgegengestellt, die Darstellung eines geeigneten Stahles zu seyn. — Jedenfalls muß der Stahl sehr hart seyn, weil er sonst nur eine geringe Coercitivkraft hat. Früher konnte man so harten Stahl nicht leicht magnetisiren, jetzt aber, wo man an den Elektromagneten die kräftigsten Magnetisirungsmittel hat, bieten sich von dieser Seite her keine Schwierigkeiten mehr.

187 **Versuche über die Schwingungsdauer geradliniger Magnetstäbe.** In demselben Aufsatze theilt Häcker auch seine Versuche über die Schwingungsdauer geradliniger Magnetstäbe mit. Aus denselben folgt, daß innerhalb gewisser Gränzen die Schwingungsdauer bei gleichem Querschnitt der Quadratwurzel aus der Länge und bei gleicher Länge der Kubikwurzel aus dem Gewichte des Magnetstabes proportional ist. Daraus ergiebt sich dann zwischen der Schwingungsdauer T, dem Gewichte P und der Länge L eines Magnetstabes folgende Beziehung:

$$T = c \sqrt[3]{P} . \sqrt[6]{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

wo c einen constanten Factor bezeichnet, der für die Häcker'schen Magnetstäbe den Werth 2,67 hat, wenn L in pariser Zollen und P in Lothen (bairisch; das bairische Pfund = 560 Gramm), ausgedrückt ist. In der folgenden Tabelle ist die beobachtete Schwingungszeit mehrerer Magnetstäbe mit den nach obiger Formel für $c = 2{,}67$ berechneten, zusammengestellt.

Länge	Gewicht	Schwingungsdauer	
des Stabes.		beobachtet.	berechnet.
3 Zoll	1,06 Loth	3,26 Sec.	3,26 Sec.
6 »	2,31 »	4,62 »	4,74 »
9 »	3,31 »	5,60 »	5,71 »
9 »	8,5 »	8,23 »	7,83 »
12 »	3,75 »	6,61 »	6,25 »
12 »	11 »	9,23 »	8,95 »

Bei den stärksten Magnetstäben, welche Häcker später noch darstellte, brachte er den Factor c bis auf 2,35 herunter.

Die Form des Querschnittes der Stäbe ist hier ohne Einfluß, so lange man sich nicht gar zu sehr von den gewöhnlichen Dimensionen entfernt, die Formel 2 gilt also eben so wohl für massive Cylinder als für hohle, und somit erklärt sich leicht, warum bei gleichem Durchmesser hohle Cylinder schneller schwingen als massive.

Die Formel 2 giebt uns auch einen Anhaltspunkt, um die Stufe der Magnetisirung verschiedener Magnetstäbe zu vergleichen. Ein Magnetstäbchen z. B., welches ich untersuchte, war 3,8 Zoll lang und wog 1,1 Loth. Daraus ergiebt sich für $c = 2{,}67$ die Schwingungszeit $T = 4{,}29$, während jenes Stäbchen zu einer Schwingung 4,74 Secunden brauchte; es war also nicht so stark magnetisirt wie die Häckerschen.

Verhältniß der Tragkraft zur Schwingungszeit. An einer 188
Reihe von Magnetstäben hat Häcker sowohl die Schwingungsdauer, als auch die Tragkraft eines einzelnen Poles bestimmt. Die folgende Tabelle giebt eine Zusammenstellung der Häcker'schen Beobachtungsresultate mit den berechneten Werthen (P. A. LXII. 366).

Länge des Stabes.	Gewicht des Stabes.	Tragkraft eines Poles		Schwingungsdauer	
		beobachtet.	berechnet.	beob.	berechn.
$2^2/_3$ Zoll	0,25 Loth	7,5 Loth	7,9 Loth	1,80 Sec.	1,98 Sec.
2 »	0,815 »	17 »	17,4 »	2,39 »	2,79 »
3 »	1,062 »	22 »	21,0 »	2,76 »	3,27 »
4 »	1,594 »	30 »	27,9 »	3,25 »	3,92 »
6 »	2,125 »	30 »	33 »	4,34 »	4,62 »
$5^1/_{12}$ »	4,062 »	48 »	51 »	4,94 »	5,45 »
$7^1/_2$ »	8,500 »	76 »	83 »	6,80 »	7,49 »
$12^3/_4$ »	34,500 »	200 »	212 »	11,8 »	13,26 »
$17^1/_2$ »	81,000 »	344 »	374 »	16,55 »	18,52 »

Die Tragkraft eines Poles wurde nach der Formel $M = a\sqrt[3]{P^2}$ berechnet, indem für a der Werth 20 eingeführt wurde. In der That stimmen die berechneten Werthe so genügend mit den beobachteten überein, daß dadurch die Gleichung 1) auch für diesen Fall gerechtfertigt erscheint, nur müßte man den Factor a etwas kleiner annehmen; als Durchschnittswerth ergiebt sich aus obigen Beobachtungen $a = 19{,}5$.

Aus dem Umstande, daß der in der Formel $M = a\sqrt[3]{P^2}$ zu setzende Werth von a sich hier, wo es auf die Berechnung der Tragkraft eines Poles ankam, fast halb so groß ist, als der Werth, den wir bei der Berechnung der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagneten einzuführen hatten, könnte man zu der Meinung verleitet werden, als ob die Tragkraft eines Poles die Hälfte sey von der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagneten. Ein Hufeisenmagnet trägt aber, wenn die beiden Pole durch einen eisernen Anker verbunden sind, wie auch leicht begreiflich, weit mehr als das doppelte von dem, was jeder einzelne Pol für sich zu tragen im Stande ist. Wenn also Häcker für die Tragkraft des einen Poles eines Magnetstabes a halb so groß gefunden hat, als früher für die gesammte Tragkraft eines Hufeisenmagneten, so müssen wir wohl annehmen, daß diese Magnetstäbe zu einer weit höheren Stufe magnetisirt waren, als seine Hufeisenmagnete, wofür auch die Bemerkung Häcker's spricht: »daß diese Tragkraft der Stäbe das äußerste war, wozu dieselben nur mit großer Mühe gebracht werden konnten.«

Bei der Berechnung der Schwingungsdauer wurde die Gleichung 2) mit dem Factor $c = 2{,}67$ angewandt, da aber die berechneten Werthe der Schwingungsdauer sämmtlich größer sind, als die beobachteten, so ergiebt sich, daß die zuletzt besprochenen Magnetstäbe schon stärker magnetisirt waren, als diejenigen, mit welchen die auf Seite 476 beschriebenen Versuche angestellt worden waren.

Mit dem letzten Stab der vorigen Tabelle machte Häcker Versuche bei verschiedenen Graden der Magnetisirung. Folgendes sind die zusammengehörigen Werthe von M und T:

M	T	MT^2
344 Loth	16,55 Sec.	93256
264 »	19,10 »	95360
176 »	23,47 »	96976
136 »	26,45 »	95064
	Mittel	95164.

Die dritte Columne enthält das Product von M und T^2. Der Werth für dieses Product ist nahezu stets derselbe, so daß sich aus diesen Versuchen das Resultat ergiebt, daß sich die Tragkraft eines Poles eines Magnetstabes umgekehrt verhält wie das Quadrat seiner Schwingungszeit.

Im Durchschnitt haben wir $MT^2 = 95164$. Setzen wir nun für M und T ihre Werthe, aus Gleichung 1) und 2), so kommt

$$a\,c^2\,\sqrt[3]{P^2}\,(\sqrt[3]{P}.\sqrt[6]{L})^2 = 95164$$

$$a\,c^2\,\sqrt[3]{P^4}\,\sqrt[3]{L} \qquad = 95164$$

da aber für den fraglichen Stab $P = 81$ und $L = 17{,}5$, so ist $\sqrt[3]{P^4} = 352$ und $\sqrt[3]{L} = 2{,}6$. Dividirt man auf beiden Seiten mit $352 . 2{,}6$ so kommt

$$a\,c^2 = 104.$$

Vermöge dieser Relation zwischen den Factoren a und c kann man aus der Schwingungsdauer eines Magnetstabes auf die Tragkraft eines Poles schließen. Für $c = 2{,}67$ ergiebt sich $a = 16{,}97$; die auf Seite 476 besprochenen Magnetstäbe waren also in der That zu einer merklich geringeren Stufe magnetisirt, als diejenigen, welche zu den auf Seite 477 angeführten Versuchen dienten, und somit ist auch gewiß, daß der Werth von a für die Tragkraft des einen Poles eines Häcker'schen Hufeisenmagneten bedeutend kleiner ist, als die Hälfte des Werthes von a, wenn es sich um die gesammte Tragkraft eines solchen Magneten handelt.

Es wäre sehr zu wünschen, daß das Verhältniß zwischen der Tragkraft

eines Pols und der gesammten Tragkraft eines Hufeisenmagneten genauer untersucht würde.

Eine dritte Abhandlung Häcker's befindet sich im LXXIV. Bande von Poggendorff's Annalen; da sie jedoch nur magnetische Specialitäten behandelt, so darf hier wohl von einer näheren Besprechung derselben Umgang genommen werden; nur eine Bemerkung, welche Häcker am Schluß dieser Abhandlung macht, muß ich noch anführen. Er hat nämlich gefunden, daß man auch dem ungehärteten Stahl einen bleibenden constanten Magnetismus ertheilen könne. Ein Magnetstab, von ungehärtetem Stahl verfertigt, $7^3/_4$ Loth schwer und $16^2/_3$ Zoll lang, zeigte während eines Zeitraumes von 13 Monaten constant dieselbe Schwingungsdauer von 11,93 Secunden. Von diesem Mittel weichen die äußersten der 8 zu verschiedenen Zeiten gemachten Bestimmungen nur um 0,05 Secunden ab. Ein aus gehärtetem Stahl verfertigter Magnetstab von gleichen Dimensionen würde nach den obigen Formeln (für $c = 2{,}67$) eine Schwingungsdauer von 8,5 Secunden gehabt haben.

Magnetisirung von Stahlstäben. Die von Elias angegebene 189
Methode (P. A. LXII. 249) mittelst einer galvanischen Drahtspirale Stahllamellen zu magnetisiren, ist bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Band, S. 210) beschrieben worden. Böttger hat eine Abänderung dieser Methode angegeben (P. A. LXVII. 112), welche darin besteht, daß anstatt einer Spirale, deren zwei angewendet werden, so daß die beiden Pole der zu magnetisirenden Hufeisenlamelle gleichzeitig in diese Spiralen eingeschoben werden; außerdem aber wendet er Bandspiralen statt Drahtspiralen an.

Elias bestreitet (P. A. LXVII. 356), daß auf diesem Wege mehr geleistet werde, als nach seiner Methode. Er führt an, daß er an einem von Häcker verfertigten Hufeisenmagnet, welcher 0,657 Kilogramm (37,5 Loth) wog, und welcher, als er ihn von Häcker erhalten hatte, 8,25 trug, die Pole mittelst seiner Spirale umgekehrt habe. Nach dieser Umkehrung und nach 25maligem Abreißen des Ankers trug er 10 Kilogramm. Berechnet man nach der Gl. 1) auf S. 474 die Tragkraft dieses Magneten, so findet man 14 Pfund; Elias hat also dem Magneten mit seiner Spirale allerdings eine noch stärkere Tragkraft ertheilt, als diejenige, welche Häcker als das Maximum bezeichnet.

Wie stark der Strom war, den Elias zu dieser Magnetisirung anwandte, ist nicht angegeben.

Frick hat über die Elias'sche Magnetisirungsmethode kritische Versuche angestellt und sie mit dem Magnetisiren durch einen Elektromagneten verglichen (P. A. LXXVII. 537). — Seine Magnetisirungsspirale war

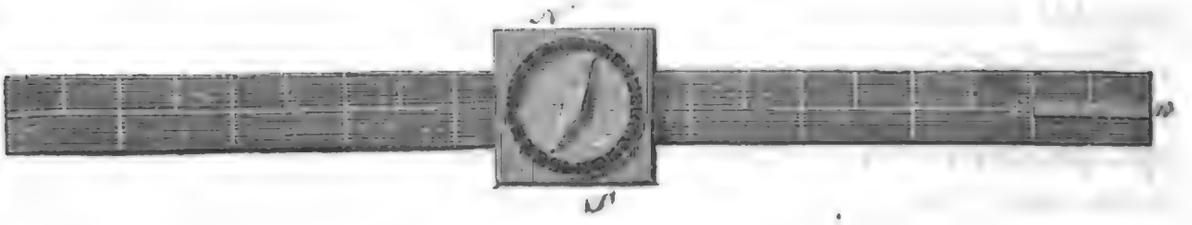
genau nach den Angaben von Elias construirt, nur war die Oeffnung derselben etwas größer. Mit einer vollkommen gleichen Drahtmenge (also 9 Meter Kupferdraht von 3^{mm} Dicke) construirt er nun auch einen Elektromagneten, indem er denselben in gehöriger Weise um den beiden Schenkel eines Hufeisens wickelte, welches aus einem 0,62 Meter langen und 27^{mm} dicken Stab von weichem Eisen gefertigt war.

Um mit diesem Elektromagneten einen Stahlstab zu magnetisiren, wurde die eine Hälfte des Stabes mehrmals über den einen, die andere Hälfte eben so oft über den anderen Pol von der Mitte gegen das Ende hin gezogen.

In allen Fällen wurde mittelst der Tangentenbussole die Stromstärke bestimmt, welche die Drahtwindungen durchlief; bei schwächeren Strömen war die Elias'sche Spirale oder die Windungen der Elektromagneten gleichzeitig mit der Tangentenbussole eingeschaltet, die natürlich in gehöriger Entfernung von der Stelle aufgestellt war, an welcher die Magnetisirung vorgenommen wurde; wegen der durch diesen Umstand erforderlichen langen Verbindungsdrähte konnte man bei gleichzeitiger Einschaltung der Spiralen und der Tangentenbussole keine sehr starke Ströme erhalten, deshalb wurde, wo solche angewendet werden sollten, einmal die Spirale allein und dann die Tangentenbussole mit so viel Draht eingeschaltet, daß der Widerstand im Schließungsbogen derselbe war, wie bei der Einschaltung der Spirale.

Die Stärke des dem Stahlstab ertheilten Magnetismus wurde dadurch bestimmt, daß der Magnetstab in der Fig. 159 angedeuteten Weise östlich

Fig. 159.



oder westlich von einer Bussole gelegt wurde, und zwar so, daß der der Bussole zugewendete Pol 0,6 Meter weit von der Mitte der Nadel war.

Betrachten wir zunächst die Resultate, welche mit zwei Stahlstäben erhalten wurden, welche nahe gleich lang (ungefähr 3 Decimeter) waren und gleichen Querschnitt hatten. Der eine *A* war glashart, der andere *B* bis zum verschwindenden blau angelassen. — Die Stromstärke ist im Folgenden nach der auf S. 248 bezeichneten Einheit ausgedrückt. Die Versuche wurden so angestellt, daß man jedesmal dieselbe Stromstärke durch die Elias'sche Spirale gehen ließ und die damit hervorgebrachte Magnetisirung des Stahlstabs ermittelte, und dann ausfindig machte, wie stark

der Magnetismus ist, den man dem Stahlstab mit Hülfe des Elektromagneten ertheilen kann, wenn ein gleich starker Strom seine Windungen durchläuft.

Die Stärke des Stabmagnetismus ist ausgedrückt durch die Anzahl der Grade, um welche er die Bussolennadel ablenkt.

Stromstärke 98. Stab A.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 13°
Zur Untersuchung in der Spirale hin- und hergeführt, konnte keine Umkehrung erreicht werden, die Stärke des Magnetismus wurde nur heruntergebracht auf	+ 1,5
Die Spirale zur Wiederherstellung des ursprünglichen Magnetismus angewandt, brachte ihn wieder auf	+ 9°
Der Elektromagnet kehrt ihn um bis auf	— 11°

Stromstärke 98. Stab B.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 15°
Durch die Spirale umgekehrt	— 1
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 10,5
Durch den Elektromagneten umgekehrt	— 17,5

Stromstärke 160. Stab A.

Ursprünglicher Magnetismus.	+ 10,5°
Durch die Spirale umgekehrt.	— 5,5
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 10
Durch den Elektromagneten umgekehrt	— 13

Stromstärke 160. Stab B.

Ursprünglicher Magnetismus	+ 11,5°
Durch die Spirale umgekehrt	— 13,5
Durch den Elektromagneten umgekehrt	+ 15

Stromstärke 340. Stab A.

Magnetisirung durch den Elektromagneten. . . .	+ 19°
Durch die Spirale umgekehrt	— 10
Abermals durch die Spirale umgekehrt	+ 15

Stromstärke 340. Stab B.

Magnetisirung durch den Elektromagneten	+ 20°
Umkehrung durch die Spirale.	— 18
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 20

Stromstärke 430. Stab A.

Magnetisirung durch den Elektromagneten	+ 19°
Umkehrung durch die Spirale	— 19
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 19

Stromstärke 430. Stab B.

Magnetisirung durch den Elektromagneten	+ 20°
Umkehrung durch die Spirale	— 20
Abermalige Umkehrung durch die Spirale	+ 20

Bei diesem letzten Versuche war der Strom so stark, daß die dicken Kupferdrähte so heiß wurden, daß zum Theil der Schellack in dem Seidenüberzuge schmolz, auch fühlte man beim Durchführen der Stäbe durch die Spirale einen ziemlich starken Widerstand.

Mit einigen anderen glasharten Stahlstäben wurden ähnliche Resultate erhalten.

Bei dem Magnetisiren der Stahlstäbe mittelst der Spirale war das Verankern durch angelegte Stücke weichen Eisens keineswegs versäumt worden.

Aus diesen Versuchen geht nun hervor,

1) daß man, wo nicht sehr starke Ströme angewendet werden, bei gleicher Stromstärke durch den Elektromagneten mehr erreicht, als durch die Spirale, und daß dieser Unterschied bei harten Stäben größer ist, als bei angelassenen.

2) Daß es bei geringeren Stromstärken nicht möglich ist, den vorhandenen Magnetismus harter Stäbe durch die Spirale umzukehren, und daß selbst bei stärkeren Strömen oder angelassenen Stäben, wo die Umkehrung mittelst der Spirale möglich ist, die umgekehrten Pole sehr schwach bleiben, und selbst beim Wiederumkehren nicht mehr die vorige Stärke erreichen, während das Streichen mit dem Elektromagneten viel leichter den Pol umzukehren vermag.

3) Daß aber der Unterschied zwischen beiden Verfahrungsarten mit der Zunahme der Stromstärke allmälig verschwindet, die Sättigung durch den Elektromagneten aber schon bei geringerer Stromstärke erreichbarer ist, als durch die Spirale.

Es dürfte demnach vortheilhafter sein, die gleiche Stromstärke und gleiche Drahtmenge auf einen Elektromagneten zu verwenden, als auf eine Spirale, namentlich, wenn man harten Stahl magnetisiren will.

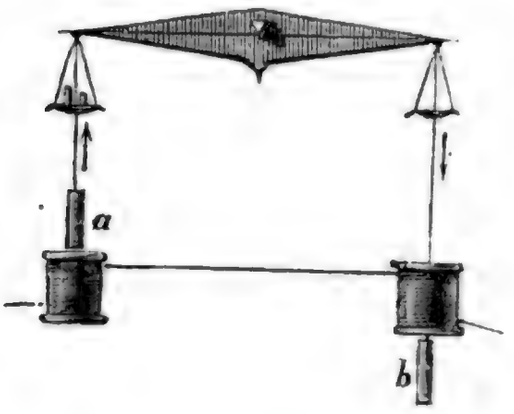
190 **Untersuchungen über die Gesetze der Elektromagnete von Lenz und Jakobi.** Die genannten Petersburger Physiker stellten ihre Versuche über die Gesetze der Elektromagnete zu einer Zeit an, in welcher die zu solchen Untersuchungen erforderlichen Hülfsmitteln noch sehr man-

gelhaft waren (die erste hierher gehörige Abhandlung, aus dem Bull. scient. der Petersburger Akademie Thl. IV. entnommen, befindet sich im XLVII. Bande von Poggendorff's Annal.), die Versuche wurden im Anfange des Jahres 1838 angestellt, so daß sie in der That große Hindernisse zu überwinden hatten. Vor allem war die Schwierigkeit, einen einigermaßen constanten Strom zu erhalten, störend und durch sie hauptsächlich ist der Gang der Untersuchung, wie wir ihn sogleich werden kennen lernen, bedingt.

Als Elektromotor dienten 24 Zinkplatinelemente, welche nach Art der Wollaston'schen Batterie construirt waren, und auf verschiedene Weise mit einander combinirt werden konnten.

Die Stromstärke wurde durch eine Becquerel'sche Wage gemessen, deren Einrichtung etwas modificirt worden war. Da dieses Instrument jetzt wohl schwerlich noch zur Messung der Stromstärke angewendet werden wird, so will ich seine Einrichtung nur so weit andeuten, als zum Verständniß der Lenz'schen Untersuchung nothwendig ist; Fig. 160 ist eine schematische Darstellung des Apparates. An den beiden Schalen einer guten Wage hängen von dünnen Drähten getragen die beiden Magnetstäbe *a* und *b*, welche ganz gleich sind, und beide den Nordpol nach Unten gerichtet haben. Zwei ganz gleiche, mit einander verbundene Drahtspiralen sind so angebracht, daß sich die eine unter *a*, die andere über *b* befindet, und zwar so, daß die Höhlung der Spirale in der Verlängerung des Magnetstabes liegt; man läßt nun den Strom in solcher Richtung durch die Spirale gehen, daß so wohl *a* als *b* abgestoßen werden, daß also der Wagebalken links gehoben und rechts gesenkt wird, wie es die Pfeile andeuten; durch Auflegen von Gewichten, welche dieser Abstoßung das Gleichgewicht halten, kann dann der Wagebalken in seiner horizontalen Stellung erhalten werden.

Fig. 160.



Um einen Strom von bestimmter Stärke zu erhalten, verfuhren Lenz und Jakobi nun so, daß ein bestimmtes Gewicht, z. B. 400 Gramm auf die Wagschale gelegt, und dann die Plattenpaare tiefer und tiefer in ihre Tröge eingetaucht wurden, bis die Abstoßung zwischen den Magneten und den Spiralen diesen 400 Grammen das Gleichgewicht hielt. Das aufgelegte Gewicht ist alsdann das Maß für die Stromstärke. Um einen 2mal, 3mal so starken Strom zu erhalten, werden 800, 1200 Grammen aufgelegt u. s. w.

Leider finden sich in der citirten Abhandlung nicht Data genug vor, und die so gemessenen Stromstärken auf unsere Einheit zu reduciren.

Zwanzig Fuß von der Wage entfernt stand die Magnetisirungsspirale, deren Enden mit den Enden der Spiralen der Wage leitend verbunden waren, so daß der Strom hinter einander die Magnetisirungsspirale und die beiden Spiralen der Wage durchlaufen mußte.

Der zu magnetisirende Eisencylinder war von zwei Drahtspiralen umgeben, von denen eine in der andern steckte; man konnte nach Belieben die innere oder die äußere als Magnetisirungsspirale anwenden, während die andere, die wir die Inductionsspirale nennen wollen, in folgender Weise diente, um die Stärke des im Eisen erzeugten Magnetismus zu messen. 15 Fuß von dieser Spirale war nämlich ein Multiplicator aufgestellt, dessen Drahtenden mit den Drahtenden der Inductionsspirale in leitende Verbindung gesetzt werden konnten. Sobald der Magnetisirungsstrom eine bestimmte, an der Wage gemessene Stärke erreicht hatte, wurde die Verbindung zwischen Multiplicator und Inductionsspirale hergestellt, und sogleich der Strom, welcher die Magnetisirungsspirale durchläuft, unterbrochen. Der in der Inductionsspirale durch den verschwindenden Magnetismus des Eisens erzeugte Inductionsstrom bewirkt einen Ausschlag der Multiplicatornadel. Dieser Inductionsstrom, welcher dem Sinus des halben Ausschlagswinkels proportional ist, dient hier als Maß für die Stärke des dem Eisen ertheilten Magnetismus.

Durch eine große Reihe nach dieser Methode sorgfältig angestellte Versuche haben Lenz und Jakobi ermittelt,

daß der im weichen Eisen durch galvanische Ströme hervorgerufene Magnetismus der Stromstärke proportional sei.

Wir werden weiter unten sehen, daß dieser Satz nur innerhalb gewisser Gränzen wahr ist.

Die Gesetze, welche Lenz und Jakobi nun zunächst entwickelten, sind folgende:

Wenn um einen Cylinder von weichem Eisen gleich starke Ströme in gleich vielen Windungen herumgeführt werden, so ist der erzeugte Magnetismus gleich stark, mag nun

1) der Draht, aus welchen die Windungen gebildet sind, dick oder dünn sein, und
2) mag die Weite der Windungen groß oder klein sein.

Endlich ergab sich noch:

daß die Totalwirkung sämmtlicher, einen Eisenkern umgebenden Windungen gleich ist der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen.

Dieſe Sätze ſind a priori ſchon ſo einleuchtend, daß ein näheres Eingehen in die Details der entſprechenden Verſuche hier wohl überflüſſig iſt.

In einer ſpäteren Abhandlung von Lenz und Jacobi (P. A. LXI. 254) finden wir für Elektromagnete das weitere Geſetz,

daß bei maſſiven Eiſencylindern von gleicher Länge und mehr als ⅓ Zoll Durchmeſſer, bei gleichen Spiralen und gleichen Stromſtärken, der Magnetismus dem Durchmeſſer der Cylinder proportional ſey.

Dieſes Geſetz iſt eben ſo wenig allgemein gültig, wie das von der Proportionalität zwiſchen Stromſtärke und Magnetismus. Bei dünneren Stäben hatten Lenz und Jakobi ſelbſt ſchon die Abweichung bemerkt, daher der beſchränkende Beiſatz.

Die wahren Beziehungen zwiſchen der Stromſtärke, den Durchmeſſer, den Cylinder und den in ihnen erzeugten Magnetismus werden wir weiter unten kennen lernen.

Anziehung der Elektromagnete. Vorausgeſetzt, daß der Magne- 191
tismus, welcher in einem Eiſenſtab erzeugt wird, der Stärke des Stromes proportional iſt, welcher ihn umkreiſt, läßt ſich erwarten, daß die Tragkraft von Elektromagneten dem Quadrate der magnetiſirenden Stromſtärke proportional ſey. Um dieſen Satz zu prüfen, ſtellte Jakobi und Lenz eine Reihe von Verſuchen an, bei denen jedoch zur Meſſung der Stromſtärke eine Nervander'ſche Tangentenbuſſole angewandt wurde.

Die Reſultate derjenigen Verſuche, welche mit geraden Eiſenſtäben und verhältnißmäßig geringen Stromſtärken angeſtellt wurden, ſtimmten ziemlich gut mit dieſer Erwartung überein (P. A. XLVII. 401), als aber die Petersburger Phyſiker zur Unterſuchung hufeiſenförmiger Elektromagnete übergingen, deren Schenkel mit 228 Windungen eines ¾ Linien dicken Kupferdrahtes umwunden waren, und ſtärkere Ströme angewandt wurden, blieb die Tragkraft weit hinter der erwarteten zurück, wie man aus der folgenden Tabelle ſieht, welche die Reſultate einer der von Lenz und Jakobi angeſtellten Verſuchsreihen enthält.

α	*tang.* α	g	g'
6° 28′	0,113	13,2	13,2
11 51	0,210	42,0	44,9
15 50	0,283	65,4	81,8
16 58	0,305	72,6	100,3
17 46	0,320	78,8	105,6
20 43	0,378	92,1	146,0

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die an der Tagentenbussole abgelesenen Ablenkungswinkel, die zweite Columne enthält die Tangenten dieser Winkel; in der dritten Columne stehen die beobachteten Tragkräfte des hufeisenförmigen Elektromagneten in Pfunden, in der letzten Columne endlich die Tragkraft, wie sie seyn würde, wenn sie dem Quadrat der Stromstärke proportional gewachsen wäre. Man sieht, daß die Zahlen der dritten Columne um so mehr hinter denen der vierten zurückbleiben, je mehr die Stromstärke wächst.

In dem folgenden Paragraphen wird gezeigt werden, daß das von Lenz und Jakobi aufgestellte Gesetz von der Proportionalität der Stromstärke und der Magnetismus nicht allgemein wahr ist und daß für stärkere Ströme und namentlich für dünnere Stäbe, der Magnetismus in einem weit langsamern Verhältniß wächst als die Stromstärke, und so erklärt sich auch leicht, warum bei stärkeren Strömen die Tragkraft hufeisenförmiger Elektromagnete so weit hinter den Erwartungen des Petersburger Physiker zurückblieb.

Es ist sehr zu bedauern, daß in der zuletzt besprochenen Abhandlung keine Angaben zu finden sind, durch welche eine Reduction der Stromstärken auf chemisches Maß möglich geworden wäre, denn dadurch hätten die mit großer Sorgfalt und Genauigkeit angestellten Versuchsreihen von Lenz und Jakobi über die Tragkraft der Elektromagnete einen ungleich größeren Werth für die Wissenschaft erhalten. Der Apparat, mit dem sie ihre Messungen über die Tragkraft anstellten, ist in Pogg. Ann. Bd. LIV., S. 335 beschrieben.

Im LII. Bande S. 303 von Poggendorff's Annalen veröffentlicht Pfaff eine Reihe von Versuchen über die Tragkraft von Elektromagneten; da jedoch keine gleichzeitige Messung der Stromstärke angestellt wurde, so lassen sich aus diesen Versuchen keine Gesetze ableiten. — Bei diesen Versuchen fand Pfaff, was man auch schon früher in Beziehung auf Stahlmagnete beobachtet hatte, daß für abgerundete Anker unter sonst gleichen Umständen die Tragkraft weit größer ist als für solche, welche mit einer ebenen Fläche an den Magneten anstoßen. Der Grund davon liegt höchst wahrscheinlich darin, daß sich im letzteren Fall keine so innige Berührung herstellen läßt.

Fig. 161.

Auch der Anker des oben S. 475 erwähnten Logemannschen Magneten ist nur mit einer schmalen Fläche mit dem Magnete in Berührung. Fig. 161 ist sein Querschnitt. Die obere Berührungsfläche ist nur 3^{mm} breit, während die unteren Flächen des Magneten 9^{mm} breit und 25^{mm} lang sind.

Versuche, welche Pfaff mit massiven und hohlen Elektromagneten anstellte (P. A. LIII. 309), widersprechen der Behauptung

von Jakobi (P. A. LI., 362), daß der Magnetismus eines Eisenstabes unter sonst gleichen Umständen nur seinem Durchmesser, also auch seinem Umfange, nicht seinem Querschnitt proportional sey, woraus er dann auch folgerte, daß hohle Stäbe verhältnißmäßig vortheilhafter seyen als massive. Zehn hohle Cylinder, deren äußerer Durchmesser gleich war, und von denen je zwei eine Wanddicke von $^{17}/_{18}$, $1^1/_7$, 2, $3^3/_8$ und $4^1/_2$ Linien hatten, wurden mit ganz gleichen Magnetisirungsspiralen versehen, und dann immer je zwei gleiche so verbunden, daß sie gewissermaßen ein Hufeisen bildeten, dessen Tragkraft geprüft wurde, es ergab sich unter anderen

für	1	. .	7 Pfund
»	2	. .	17 »
»	3	. .	15 »
»	4	. .	20 »
»	5	. .	44 »

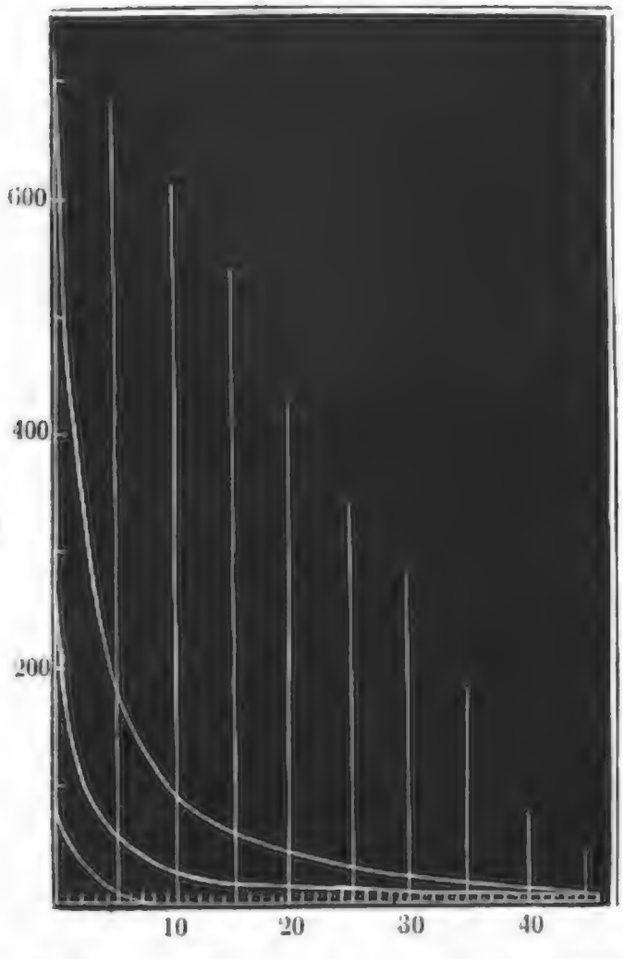
woraus sich ergiebt, daß bei gleichem Durchmesser die Tragkraft doch sehr von der Masse der Elektromagneten abhängt. Nro. 2 war wohl aus einer weicheren Eisensorte verfertigt.

Mit der Entfernung des Ankers von den Polen der Magnete nimmt die Tragkraft sehr rasch ab; Kramer in Kiel hat darüber Versuche angestellt (P. A. LII. 298). Um die anziehende Kraft in einer Reihe auf einander folgender, möglichst gleichförmig wachsender Entfernungen zu prüfen, nahm er als Einheit derselben die Dicke eines Blattes Velin-Postpapiers, wovon 46 eine englische Linie machen. Er schnitt von solchem Papier eine Anzahl Stücke und brachte diese nach und nach zwischen Pole und Anker. Die folgenden Tabellen sind ein Auszug aus den auf diese Weise mit vier verschiedenen Magneten erhaltenen Resultate.

Magnet Nro. I.		Magnet Nro II.	
Entfernung.	Tragkraft.	Entfernung.	Tragkraft.
0	80 Loth	0	104 Loth
1 Papierdicke	32 »	1 Papierdicke	44 »
2 »	21 »	2 »	24 »
4 »	11 »	4 »	11 »
8 »	$4^1/_4$ »	8 »	$4^1/_2$ »
15 »	$1^1/_8$ »	15 »	2 »

Magnet Nro. III.		Magnet Nro. IV.	
Entfernung.	Tragkraft.	Entfernung.	Tragkraft.
0	224 Loth	0	680 Loth
1 Papierdicke	148 »	1 Papierdicke	475 »
2 »	108 »	2 »	355 »
4 »	64 »	4 »	215 »
8 »	36 ½ »	8 »	116 »
16 »	17 ¼ »	16 »	55 ½ »
46 »	6 ½ »	46 »	13 ½ »

Fig. 162.



In der Originalabhandlung finden ſich auch noch die Tragkräfte, welche für die Entfernungen 3, 5, 6, 7, 9 u. ſ. w. beobachtet wurden.

In Fig. 162 iſt das Reſultat für I., III. und IV. graphiſch dargeſtellt, und zwar in den Abſciſſenlinien 1^{mm} für eine Papierdicke, als Ordinate 1^{mm} für eine Tragkraft von 10 Lothen.

192

Verſuche über den Einfluß des Ankers auf die Tragkraft. Welch bedeutenden Einfluß Geſtalt und Gewicht des Ankers auf die Tragkraft von Magneten hat, iſt ſchon längſt bekannt, doch ſind darüber wenig vergleichende Verſuche angeſtellt worden. Im Jahr 1847 legte Barral der Pariſer Akademie eine Abhandlung über Elektromagnete vor, von welcher die comptes rendus (Bd. 25, S. 757) einen Auszug geben. Er unterſuchte den Einfluß, den das Gewicht des Ankers auf die Tragkraft der Elektromagnete hat; mit einem 7,8 Kilo-

gramm schweren Elektromagneten erhielt er bei gleicher Stromstärke folgende Resultate:

Gewicht des Ankers.	Tragkraft.
0,2 Kil. . . .	33 Kil.
0,9 » . . .	66 »
2,8 » . . .	183 »
4,8 » . . .	235 »
6,8 » . . .	267 »
9,2 » . . .	295 »
15,0 » . . .	235 »

Die Tragkraft des Elektromagneten wäre demnach ein Maximum, wenn das Gewicht des Ankers dem des Elektromagneten nahe zu gleich ist.

Dies Gesetz kann aber unmöglich eine allgemeine Geltung haben, da, wie wir sogleich sehen werden, bei gleicher Masse des Ankers die Tragkraft der Elektromagnete noch durch die Gestalt des Ankers bedingt wird. Welche Gestalt und welche Dimensionen die Barral'schen Anker hatten, ist in erwähntem Auszuge nicht angegeben, er würde aber gewiß ganz andere Resultate erhalten haben, wenn er die vergrößerte Masse des Ankers in anderer Form zur Anwendung gebracht hätte.

Ueber die Tragkraft, welche der eine Pol eines geradlinigen Elektromagneten besitzt und wie dieselbe von der Masse und der Gestalt des Ankers abhängt, hat Dub eine umfangreiche Untersuchung angestellt (P. A. LXXIV. 465).

Die Anordnung seiner Versuche war im Wesentlichen folgende: Der mit der Magnetisirungsspirale umgebene cylindrische Eisenstab war vertical gestellt und gehörig befestigt; auf dem oberen Pol wurde der gleichfalls cylindrische Anker aufgesetzt, welcher durch einen genau construirten Hebelapparat abgerissen wurde. Die Pole des Elektromagneten und der Anker waren möglichst eben abgeschliffen. Der Strom, welcher durch die Spirale ging, wurde durch eine Tangentenbussole gemessen.

Zunächst untersuchte Dub 10 Anker von gleichem Gewicht ($29\frac{1}{4}$ Loth) aber verschiedener Länge und also auch verschiedenem Durchmesser. Der Elektromagnet war 12 Zoll lang und hatte 1 Zoll Durchmesser. Die Dimensionen der Anker waren folgende:

Anker.	d	l	Anker.	d	l
Nr. 1	2″	1″	Nr. 6	$^7/_8$″	$5^1/_4$″
» 2	$1^1/_2$	$1^1/_5$	» 7	$^3/_4$	$7^1/_9$
» 3	$1^2/_5$	2	» 8	$^{11}/_{16}$	$8^1/_2$
» 4	$1^1/_5$	3	» 9	$^9/_{16}$	$12^2/_3$
» 5	1	4	» 10	$^1/_2$	16

unter d stehen die Durchmesser, unter l die Längen. Mit diesen Ankern machte Dub Versuche bei zwei verschiedenen Stromstärken. Es ergab sich Folgendes:

Anker.	Stromstärke = 25°	Stromstärke = 45°
1	1,8 Pfund	6,24 Pfund
2	1,7 »	5,4 »
3	2,1 »	5,2 »
4	2,7 »	6,57 »
5	3,35 »	8,13 »
6	4,5 »	10,71 »
7	6,2 »	15,5 »
8	7,4 »	19,15 »
9	9,7 »	27,9 »
10	10,3 »	25,58 »

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß bei gleichem Gewicht des Ankers seine Tragkraft sehr wesentlich von seinen Dimensionen abhängt. Im Allgemeinen wächst bei gleichem Gewicht die Tragkraft mit der Länge.

Nun stellte Dub Versuche an mit Ankern von gleichem Durchmesser und verschiedener Länge (also auch verschiedenem Gewicht).

Mit einem Elektromagneten von 1 Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge erhielt er folgende Resultate, als der Durchmesser des Ankers dem des Elektromagneten gleich war.

Länge der Anker	Stromstärke			
	20°	25°	31°	35°
2″	1,2 Pfd.	1,7 Pfd.	2,4 Pfd.	2,9 Pfd.
3	1,7 »	2,4 »	3,6 »	4,5 »
4	2,4 »	3,3 »	4,8 »	6,1 »
5	3,0 »	4,0 »	6 2 »	7,3 »
6	3,3 »	4,6 »	,8 »	8,9 »
9	4,4 »	6,8 »	11,2 »	13,8 »
15	4,9 »	8,4 »	12,9 »	16,4 »
18	5,2 »	10,2 »	13,6 »	18,8 »
21	6,3 »	12,0 »	16,0 »	22 »
24	5,9 »	9,5 »	13,4 »	17,5 »

Mit demſelben Elektromagneten, aber mit Ankern von $^5/_{16}$ Zoll Durchmeſſer ergaben ſich folgende Reſultate.

Länge der Anker	Stromstärke			
	20°	25°	31°	35°
2″	1,7 Pfd.	2,6 Pfd.	3,6 Pfd.	4,4 Pfd.
3	2,9 »	3,7 »	5,4 »	6,2 »
4	3,4 »	4,7 »	7,2 »	7,7 »
5	3,9 »	5,4 »	7,8 »	8,0 »
9	6,0 »	7,3 »	9,4 »	10,1 »
12	6,5 »	8,7 »	9,8 »	10,8 »
18	6,3 »	8,7 »	9,5 »	10,5 »
24	6,3 »	8,0 »	9,4 »	10,5 »

Im Allgemeinen wächſt alſo die Tragkraft mit der Länge der Anker, jedoch nur bis zu einem beſtimmten Maximum. Bei den Zoll dicken Ankern erreicht die Tragkraft für die Länge von 21″ das Maximum; mit Vergrößerung der Länge findet wenigſtens keine Ver-

mehrung der Tragkraft mehr statt. Bei geringerem Durchmesser des Ankers findet das Maximum der Tragkraft schon bei geringerer Länge statt; für $^5/_{16}$ Zoll Durchmesser bei 12 Zoll Länge; für $^3/_{16}$ Zoll Länge fand es Dub bei 9 Länge. Für stärkere Ströme und dünnere Anker beginnt die Annäherung zu dem Maximum schon früher.

Den Einfluß der Dicke des Ankers können wir zum Theil schon aus den zuletzt angeführten Tabellen erkennen. Wir sehen, daß bei gleicher Stromstärke und gleicher Ankerlänge der dünnere Magnet oft mehr trägt als der dickere; eine in dieser Beziehung besonders angestellte Versuchsreihe, wozu ein Elektromagnet von 12″ Zoll Länge und 1″ Durchmesser gebraucht wurde, gab folgende Resultate.

Ankerlänge 2″.

Stromstärke.	Durchmesser der Anker.								
	1″	$^{11}/_{16}$″	$^9/_{16}$″	$^8/_{16}$″	$^6/_{16}$″	$^5/_{16}$″	$^3/_{16}$″	$^2/_{16}$″	$^1/_{16}$″
20°	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7	1	0,4
25	1,7	1,8	2,0	2,1	2,4	2,6	2,2	2,1	0,4
31	2,4	2,7	3,0	3,1	3,4	3,6	3,1	2,1	0,4
35	3,0	3,0	3,5	3,8	4,1	4,4	3,3	2,0	0,4
39	3,6	4,1	4,4	4,5	5,5	5,5	3,8	2,9	0,5
42	4,7	5,2	5,8	6,3	7,2	6,9	3,9	2,7	0,5

Ankerlänge 6″.

Stromstärke.	Durchmesser der Anker.								
	1″	$^{12}/_{16}$″	$^{11}/_{16}$″	$^9/_{16}$″	$^8/_{16}$″	$^6/_{16}$″	$^5/_{16}$″	$^3/_{16}$″	$^2/_{16}$″
20°	3,3	3,9	4,2	4,4	4,8	5,1	4,9	2,7	2,2
25	4,8	5,5	6,2	6,4	7,1	7,3	6,1	3,4	2,2
31	6,8	8,1	9,1	9,7	10,4	10,0	8,2	3,8	2,4
35	8,9	10,3	11,2	11,7	12,5	11,9	9,2	4,1	2,7
39	9,9	12,9	13,9	15,2	16,2	14.9	9,8	3,9	2,8
45	13,3	16,2	18,5	21,3	20	17,2	10,1	3,8	2,8

Ankerlänge 12″.

Stromstärke.	Durchmesser der Anker.						
	$^{12}/_{16}$″	$^{10}/_{16}$″	$^{8}/_{16}$″	$^{6}/_{16}$″	$^{5}/_{16}$″	$^{3}/_{16}$″	$^{2}/_{16}$″
20°	4,7	5,8	6,8	7,2	6,5	3,3	2,0
25	8,6	9,3	10,8	10,3	8,5	3,7	2,5
31	12,0	14,8	16,1	13,8	9,8	4,3	2,6
35	18,3	19,2	19,6	15,6	10,8	4,4	2,8
39	19,7	22,8	24,8	17,0	10,8	4,5	2,6
45	28,9	33,4	27,5	18,6	11,7	4,8	2,9

Wir sehen hier das merkwürdige Resultat, daß die Tragkraft mit dem Dünnerwerden des Ankers bis zu einer bestimmten Gränze wächst, das Maximum der Tragkraft rückt aber den dickeren Ankern um so mehr zu, je länger sie sind und je größer die Stromstärke ist. Unter den 2″ langen Ankern z. B. zeigt bei 20° der von $^{5}/_{16}$″ Durchmesser das Maximum der Tragkraft, welches sich für 45° bei $^{6}/_{16}$″ Durchmesser findet. Unter den Ankern, welche 12″ lang sind, zeigt bei 20° der $^{6}/_{16}$ Zoll Dicke, bei 45° der $^{10}/_{16}$ Zoll Dicke die größte Tragkraft.

Eben so zeigen die Versuche Dub's, daß, wenn die Anker dicker sind als die Elektromagnete, die Tragkraft bis zu einer gewissen Gränze zunimmt, wenn der Durchmesser der Elektromagnete verkleinert wird.

In beiden Fällen bewirkt aber die Verkleinerung der Durchmesser nur deshalb eine Vermehrung der Tragkraft, weil sie mit einer Verkleinerung der Berührungsfläche verbunden ist. Es geht dies deutlich aus den Versuchen Dub's hervor, zu welchen er conisch zugespitzte Anker anwandte, um bei größerem Durchmesser eine kleinere Berührungsfläche zu erzielen.

So erhielt er z. B. mit einem Elektromagnet von 1 Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge mit verschiedenen 6 Zoll langen Ankern folgende Resultate:

Anker Nro. I. 1 Zoll Durchmesser, oben conisch verjüngt, so daß die Berührungsfläche $^{1}/_{2}$ Zoll Durchmesser hatte . . . 7 Pfund
Anker Nro. II. ganz cylindrischer Anker von 1 Zoll Durchmesser . . . . . 3,3 »
Anker Nro. III. ganz cylindrisch $^{1}/_{2}$ Zoll Durchmesser . 4,8 »

Der halbzöllige cylindrische Magnet hat also nur deshalb eine größere Tragkraft, als der einzöllige, weil die Berührungsfläche kleiner ist, wenn

man den einzölligen oben so vergüngt, daß die obere Fläche ebenfalls ein ½ Zoll Durchmesser hat, so trägt er jetzt bedeutend mehr als der halbzöllige. Bei gleich großer Berührungsfläche zieht der Anker am meisten, welcher die größte Masse hat.

Wie es kommt, daß der kleineren Berührungsfläche die größere Tragkraft zukommt, ist noch nicht gehörig ermittelt. Jedenfalls kann man bei größeren Berührungsflächen keine so innige Berührung, kein so genaues Anschließen hervorbringen, während außerdem noch bei dickeren Ankern weit eher ein Abbrechen des Ankers stattfinden kann als bei kleineren.

Leider hat Dub nach dieser Seite seine Versuche nicht ausgedehnt, er hat nicht untersucht, wie es sich verhält, wenn man die Berührungsfläche bis zur Kante oder bis zum Punkt verkleinert.

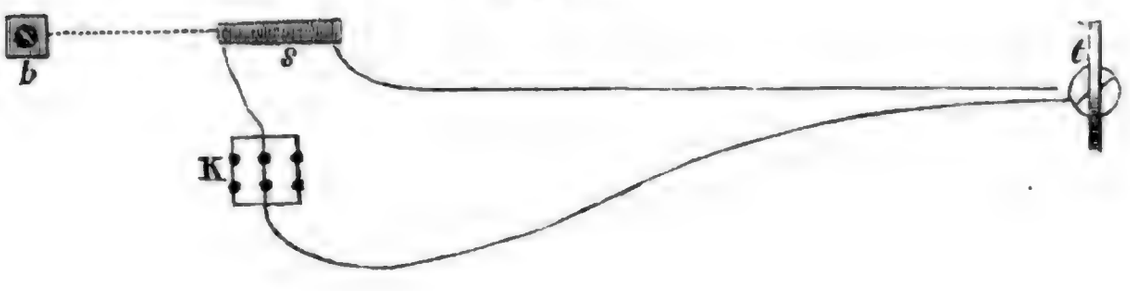
Jedenfalls ist die Tragkraft eine Function der Länge des Ankers, seines Durchmessers und der Größe der Berührungsfläche. Die Natur dieser Function, also wie die Tragkraft von diesen drei Elementen abhängt, ist bis jetzt noch nicht genügend ermittelt.

193 **Neuere Versuche über die Gesetze des Elektromagnetismus.** Wenn der Magnetismus eines Eisenstabes der Stärke des um ihn herumgeführten Stromes stets proportional wäre, so müßte er selbst im dünnsten Stab ins Unendliche wachsen können, was aus mannigfachen Gründen höchst unwahrscheinlich ist. In Stahlstäben kann der Magnetismus nicht über eine gewisse Gränze hinaus gebracht werden; sollte es nicht auch für Eisenstäbe eine Gränze geben, der sich der Stabmagnetismus bei wachsender Stromstärke mehr und mehr nähert, ohne jedoch dieselbe je zu erreichen? Schon lange ging ich mit dem Plan um, diesen Gegenstand auf experimentellem Wege weiter zu verfolgen, aber erst im vorigen Herbst kam ich zur Ausführung.

In den Uebungsstunden unseres mathematisch-naturwissenschaftlichen Seminars unternahm es nämlich Hr. C. Gartenhauser nach meiner Anleitung eine hierher gehörige Reihe von Versuchen auszuführen, deren Resultate meine Erwartungen vollkommen bestätigte.

Die Anordnung der Versuche übersieht man aus Fig. 163. Der Strom wurde durch sechs Bunsen'sche Becher erzeugt, von denen je drei

Fig. 163.



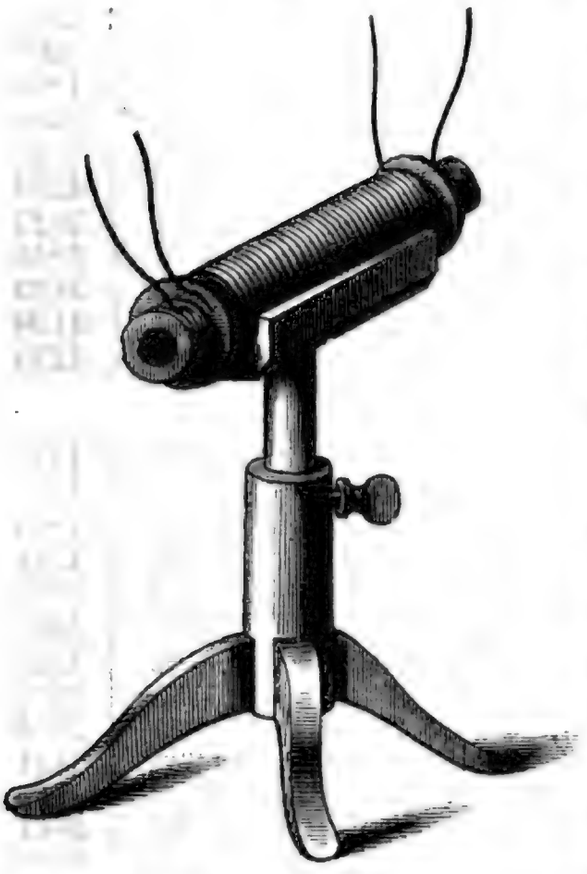
zu einem Elemente combinirt waren, so daß man eine Säule von zwei großen Elementen hatte, er ging durch die Magnetisirungsspirale *s* und durch die Tangentenbussole *t*, welche so weit abstand (50 Fuß), daß der Magnetismus der in *s* eingeschobenen Eisenstäbe keinen merklichen Einfluß auf die Nadel in *t* ausüben konnte.

Als Einheit der Stromstärke wurde ein Strom genommen, der in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas von 0^0 und 760^{mm} Spannkraft liefert. Um die Angaben der Tangentenbussole auf diese Einheit zu reduciren, muß die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt werden (S. 250).

Die Magnetisirungsspirale stand rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian; zur Messung des Magnetismus der in *s* eingeschobenen Eisenstäbe diente eine 88 Centimeter östlich von ihm aufgestellte Bussole *b*.

Die Einrichtung in Aufstellung der Magnetisirungsspirale ist aus Fig. 164 zu ersehen. Zwei Drahtrollen waren in einander gesteckt, von denen jede aus drei Drahtlagen bestand; die innere war 532^{mm} lang, mit grüner Seide übersponnen und soll deshalb mit *g* bezeichnet werden; sie bestand aus 408 Windungen eines $3{,}1^{mm}$ dicken Kupferdrahtes; die äußere, 482^{mm} lange, violett übersponnene und deshalb mit *v* bezeichnete, bestand aus 372 Windungen eines $2{,}7^{mm}$ dicken Kupferdrahtes.

Fig. 164.



Die zu den Versuchen angewandten Stäbe waren von gewalztem Eisen und nicht weiter abgedreht; ihre Länge war 560^{mm}, so daß sie noch etwas auf jeder Seite aus der Spirale herausragten; der Stab Nro. 1 war 9^{mm} dick; Nro. 2 — 12^{mm}; Nro. 3 — 15^{mm}; Nro. 4 endlich 44^{mm}. Die drei dünneren Stäbe wurden in die innere Hülse eingeschoben; um den dicksten in *v* einzuschieben, mußte erst *g* herausgenommen werden.

Die Beobachtungsresultate unserer Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	c.	a.	s.	p.	u'.	u.	m.	$\frac{m}{p}$.
				Stab Nro. 1.				
5	v	32°,2	44,076	16397	2°48'	18°	0,2760	1683
6	v	28,2	37,534	13963	2 27	17 33'	0,2735	1959
9	v	15,4	19,278	7110	1 20	13 41	0,2202	3097
14	v	3,2	3,913	1456	16	3 41	0,2597	4100
4	g	34,4	47,929	19555	1 30	16 44	0,2744	1403
8	g	15,5	19,411	7921	39	13 46	0,2337	2937
2	g	41,6	62,146	25356	1 49	17 33	0,2845	1122
11	g	7,0	8,596	3507	18	8 6	0,1371	3909
13	g	3,2	3,913	1596	8	3 49	0,0644	4004
1	v+g	27,0	35,665	27819	3 31	19 8	0,2864	1027
3	v+g	23,5	30,436	23740	3 4	18 40	0,2842	1197
7	v+g	13,6	19,933	13288	1 2	16 18	0,2627	1967
10	v+g	7,0	8,596	6705	54	12 36	0,2078	3090
12	v+g	3,2	3,913	3052	24	7 12	0,1193	3909
				Stab Nro. 2.				
4	v	32,2	44,079	16397	2 48	27	0,4606	2808
6	v	27,3	36,442	13556	2 24	26 6	0,4325	3309
11	v	7	8,596	3198	36	9	0,1479	4625
13	v	3,3	3,731	1388	17	4 25	0,0723	5209
2	g	42,2	63,469	25895	1 50	27 54	0,4975	1959
3	g	35,6	50,113	20546	1 33	27 16	0,4883	2381
7	g	17,5	22,064	9001	0 45	18 54	0,3293	3658
9	g	7,5	9,212	3758	0 19	9 54	0,1690	4494
12	g	3,4	3,752	1531	0 8	4 30	0,0764	5223
1	v+g	26,6	28,039	27638	3 28	29 42	0,5098	1844
5	v+g	14,0	17,451	13612	1 49	24 32	0,4247	3120
8	v+g	7,0	8,596	6705	0 54	17 17	0,2954	4108
10	v+g	3,4	4,158	3243	0 26	8 19	0,1386	4270
				Stab Nro. 3.				
6	v	20,5	26,173	9736	1 47	24 23	0,4222	4336
11	v	8	9,835	3659	0 42	10 48	0,1786	4881
13	v	6,4	7,854	2922	0 34	8 33	0,1404	4805
14	v	5,7	6,886	2506	0 30	7 12	0,1176	4591
2	g	41,5	61,929	25267	1 48	36 27	0,7072	2799
7	g	17,5	22,064	9001	0 45	22 5	0,3926	4361
10	g	7,8	9,590	3903	0 20	10 21	0,1768	4529
1	v+g	26,5	34,902	27223	3 26	38 26	0,7335	2694
3	v+g	23,6	30,583	23855	3 4	36 54	0,6975	2974
4	v+g	17	21,399	16691	2 13	33 29	0,6228	3731
5	v+g	14	17,451	13618	1 49	30 49	0,5648	4147
8	v+g	7	8,596	6705	0 54	18	0,3092	4611
9	v+g	6	7,357	5738	0 47	15 2	0,2675	4662
12	v+g	3,4	4,158	3243	0 26	9 11	0,1541	4748
				Stab Nro. 4.				
1	v	33,1	45,633	16975	2 52	54 43	0,3631	8041
2	v	20,2	25,753	9580	1 45	39 22	0,7898	8244
3	v	18,8	19,810	7369	1 22	31 44	0,5946	8069
4	v	12,0	14,832	5536	1 2	25 44	0,4640	8381
5	v	7,4	9,093	3383	0 38	15 38	0,2730	8129
6	v	6,5	7,973	2946	0 34	14 30	0,2487	8102

Die mit c überschriebene Columne giebt die Combination der Drahtspiralen an; v bezeichnet die violette Spirale allein; g die grüne allein; $v+g$ die beiden Spiralen so combinirt, daß der Strom erst die eine, dann die andere durchläuft. Die mit a überschriebene Columne enthält die an der Tangentenbussole abgelesene Ablenkung; die mit s überschriebene enthält die entsprechende Stromstärke, welche man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 70 multiplicirt. Die magnetisirendende Kraft p, welche in der folgenden Columne steht, ist durch Multiplication der Stromstärke mit der Anzahl der von dem Strom durchlaufenen Windungen erhalten worden. Die mit u' überschriebene Columne giebt die Ablenkung an, welche die Spirale für sich allein an der Bussole b Fig. 163 hervorbringt, während man unter u die von dem magnetisirten Eisenstab und der Spirale zugleich hervorgebrachte Ablenkung dieser Bussole findet. $tang.\,u - tang.\,u'$ giebt das Maaß für den Stabmagnetismus, wie man ihn in der mit m überschriebenen Columne findet. Die letzte Columne endlich enthält die Werthe des Quotienten $\frac{m}{p}$, und zwar, um die vielen Decimalstellen zu vermeiden, mit 100000000 multiplicirt.

Wäre das Gesetz von Lenz allgemein wahr, so müßte für einen und denselben Stab der Werth von $\frac{m}{p}$, constant bleiben; die Unterschiede sind aber so bedeutend, daß an eine Proportionalität des Stabmagnetismus und der Stromstärke nicht mehr zu denken ist. Im Allgemeinen sieht man, daß für größere Werthe von p der Werth von $\frac{m}{p}$ kleiner ausfällt, daß für größere magnetisirende Kräfte, also caeteris paribus für größere Stromstärke, der Stabmagnetismus weit geringer ausfällt, als man nach dem Gesetz der Proportionalität hätte erwarten sollen.

Nach vielen vergeblichen Versuchen ist es mir gelungen eine Formel aufzufinden, welche sämmtliche Versuchsresultate umfaßt, die sich in obiger Tabelle verzeichnet finden; diese Formel ist

$$p = 220\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{m}{0{,}00005\, d^2} \quad \ldots \quad (1)$$

in welcher p und m dieselbe Bedeutung haben, wie in obiger Tabelle, während d den Durchmesser des Stabes bezeichnet. Aus dieser Gleichung folgt:

1) Für $p = \infty$ ist $\frac{m}{0{,}00005\, d^2} = 90^0$ also $m = 90 \cdot 0{,}00005\, d^2$; für eine unendliche Stromstärke würde demnach der Stabmagnetismus doch nur einen endlichen Werth erhalten, es giebt also für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus, und die-

ſes magnetiſche Maximum iſt dem Quadrate des Durchmeſſers, alſo dem Querſchnitt des Stabes, proportional.

2) Wenn der Magnetismus verſchiedener Stäbe denſelben Theil ihres abſoluten magnetiſchen Maximums ereichen ſoll, ſo muß man für alle den Werth von $\frac{m}{0{,}00005 d^2}$ gleich ſetzen; alsdann aber verhalten ſich die entſprechenden Werthe von p wie $d^{3/2}$; d. h. um in verſchieden dicken Eiſenſtäben denſelben aliquoten Theil ihres magnetiſchen Maximums zu erzeugen, muß man Ströme anwenden, die ſich verhalten wie die Quadratwurzel aus der dritten Potenz der Halbmeſſer. Wenn alſo z. B. eine beſtimmte Stromſtärke f in einem Eiſenſtab einen Magnetismus erzeugt, welcher die Hälfte des abſoluten magnetiſchen Maximums beträgt, ſo wird man, um in einem zweimal dickeren Stabe gleichfalls $\frac{1}{2}$ des abſoluten magnetiſchen Maximums zu erreichen, caeteris paribus einen $\sqrt{2^3}$ alſo einen 2,83mal ſtärkeren Strom nöthig haben.

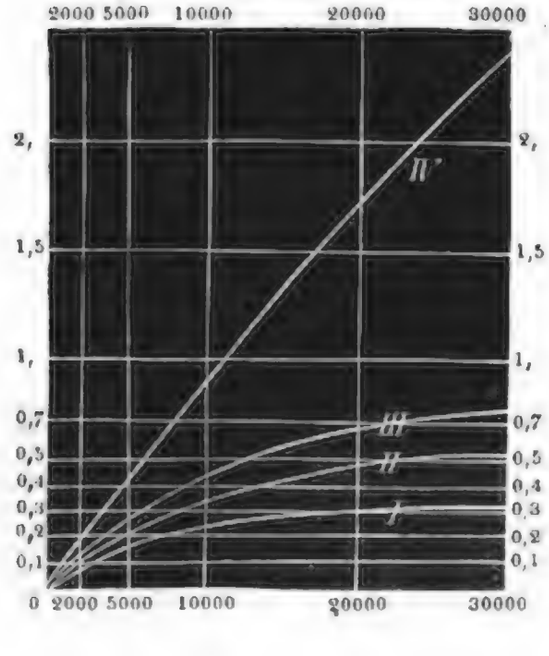
3) So lange *tang.* $\frac{m}{0{,}00005\, d^2}$ nur einen kleinen Winkelwerth hat, ſind p und m ziemlich nahe proportional und man kann ohne merklichen Fehler

$$p = a \,.\, 220\, d^{3/2} \frac{m}{d^2}$$

ſetzen, wo a einen leicht zu ermittelnden conſtanten Factor bezeichnet; daraus ergiebt ſich aber $m = \frac{p \cdot \sqrt{d}}{a \,.\, 220}$,

ſo weit man alſo den Stabmagnetismus der Stromſtärke proportional ſetzen kann, iſt der durch gleiche Ströme in verſchiedenen Eiſenſtäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmeſſer proportional.

Fig. 165.



Um das Verhältniß anſchaulicher zu machen, nach welchem der Stabmagnetismus wächſt, wenn die Stromſtärke zunimmt, iſt es nach der Gleichung (1) in Fig. 165 für unſere vier Stäbe graphiſch dargeſtellt; die Abſciſſen ſind der magnetiſirenden Kraft, die Ordinaten ſind dem Stabmagnetismus proportional aufgetragen. Die unterſte Curve entſpricht dem dünnſten, die oberſte dem dickſten Eiſenſtab. Vergleicht

man dieſe Figur mit den Zahlen der obigen Tabelle, ſo iſt wohl keine weitere Erläuterung zu ihrem Verſtändniß nöthig.

Wäre das Lenz'ſche Geſetz allgemein gültig, ſo müßten dieſe vier Curven gerade Linien ſeyn, was nur bei der Curve Nr. IV annähernd der Fall iſt. Der Anblick der Fig. 165 ſchon zeigt uns, daß wir mit den Stromſtärken, mit denen wir operirten, für den dünnſten Stab dem abſoluten magnetiſchen Maximum ſchon ſehr nahe gekommen ſind, indem die Curve I. auf ihrer rechten Seite ſchon einen faſt horizontalen Lauf hat.

Die Abweichung unſerer Curven von einer geraden Linie iſt der Art, daß man ſie unmöglich auf Rechnung von Beobachtungsfehlern ſchreiben kann; wenn Lenz aus ſeinen Verſuchen das Geſetz der Proportionalität ableiten konnte, ſo hat dies ſeinen Grund gewiß nur darin, daß er im Verhältniß zu ſeinen Eiſenſtäben zu ſchwache Ströme anwandte.

Es bleibt jetzt noch übrig nachzuweiſen, in wie weit die Gleichung (1) wirklich den wahren Zuſammenhang zwiſchen Stabmagnetismus, Stabdicke und Stromſtärke darſtellt. Zu dieſem Zwecke ſind für ſämmtliche in obiger Tabelle enthaltenen Werthe von p nach dieſer Gleichung die entſprechenden Werthe von m berechnet und in der folgenden Tabelle mit den beobachteten Werthen von m zuſammengeſtellt worden.

p	m		Unterſchied.	p	m		Unterſchied.
	beobachtet.	berechnet.			beobachtet.	berechnet.	
	Stab Nro. 1.				Stab Nro. 2.		
27819	0,2864	0,3156	+ 0,0292	27638	0,5098	0,5162	+ 0,0064
25356	0,2845	0,3113	+ 0,0268	25895	0,4975	0,5081	+ 0,0106
23746	0,2842	0,3075	+ 0,0233	20546	0,4883	0,4753	— 0,0130
19555	0,2744	0,2979	+ 0,0235	16397	0,4606	0,4383	— 0,0223
16397	0,2760	0,2837	+ 0,0077	13612	0,4247	0,4041	— 0,0206
13963	0,2735	0,2674	— 0,0052	9001	0,3293	0,3207	— 0,0086
13288	0,2627	0,2668	+ 0,0041	6705	0,2954	0,2610	— 0,0344
7921	0,2337	0,2151	— 0,0186	3758	0,1690	0,1609	— 0,0081
7110	0,2202	0,2030	— 0,0173	3243	0,1386	0,1406	+ 0,0020
6705	0,2078	0,1962	— 0,0116	3198	0,1379	0,1388	+ 0,0009
3507	0,1371	0,1237	— 0,0134	1531	0,0764	0,0685	— 0,0087
3052	0,1193	0,1002	— 0,0091	1388	0,0723	0,0621	— 0,0102
1596	0,0644	0,0605	— 0,0039				
1456	0,0597	0,0558	— 0,0039				

p	m		Unterschied.	p	m		Unterschied.
	beobachtet.	berechnet.			beobachtet.	berechnet.	
	Stab Nro. 3.				Stab Nro. 4.		
27223	0,7335	0,7328	− 0,0007	16975	1,3631	1,4137	+ 0,0506
25267	0,7072	0,7215	+ 0,0143	9580	0,7898	0,8082	+ 0,0184
23855	0,6975	0,6968	+ 0,0014	7369	0,5946	0,6264	+ 0,0218
16691	0,6228	0,5940	− 0,0288	5536	0,4640	0,4712	+ 0,0072
13618	0,5648	0,5266	− 0,0382	3353	0,2750	0,2892	+ 0,0142
9736	0,4222	0,4217	− 0,0005	2946	0,2487	0,2504	+ 0,0017
9001	0,3926	0,3974	+ 0,0048				
6705	0,3092	0,3127	+ 0,0035				
5738	0,2642	0,2732	+ 0,0090				
3903	0,1768	0,1917	+ 0,0149				
3659	0,1786	0,1805	+ 0,0019				
3243	0,1541	0,1548	+ 0,0007				
2922	0,1404	0,1455	+ 0,0051				
2562	0,1283	0,1314	+ 0,0138				

Die Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten Werthen von m ist von der Art, daß man wohl berechtigt ist, die Gleichung (1) für den wahren Ausdruck des Zusammenhanges zwischen Magnetismus und Stromstärke anzusehen, namentlich wenn man den großen Umfang unserer Versuchsreihen sowohl in Beziehung auf Stromstärke als auf Stabdurchmesser bedenkt. Die Differenzen sind von der Art, daß man sie ohne Anstand auf Kosten der Beobachtungsfehler setzen darf, deren mehrere sich summiren können, welche nicht allein in der Aufstellung, Centrirung und Ablesung der Bussolen, sondern auch darin zu suchen sind, daß die Stäbe (gewalztes Eisen, nicht weiter abgedreht) keinen vollkommnen kreisförmigen Durchmesser hatten und Fehler in der Messung ihrer Dicke begangen wurden, was namentlich die vorherrschend positiven Differenzen beim Stab Nr. 4 bedingt, dessen Durchmesser wohl im Vergleich zu den übrigen Stäben zu groß angenommen seyn mag.

Man könnte die Frage aufwerfen, wie es denn möglich gewesen sey, daß zwei so geschickten und genauen Experimentatoren, wie Lenz und Jakobi, das wahre Gesetz des Elektromagnetismus entgangen sey. Darauf ist vor Allem zu bemerken, daß das von jenen Physikern aufgestellte Gesetz keineswegs falsch, sondern nur nicht allgemein gültig ist. Es ist wahr innerhalb gewisser Gränzen, es ist wahr für dicke Stäbe und schwächere Ströme; und für solche haben Lenz und Jakobi ihre Untersuchungen nur ange-

ſtellt. Innerhalb dieſer Gränzen fällt ihr Geſetz mit den von mir aufgeſtellten zuſammen. Daß Lenz und Jakobi ihre Verſuche namentlich in Beziehung auf Stromſtärke nicht weiter ausdehnten, kann aber nicht auffallen, wenn man bedenkt, daß man zu jener Zeit noch keine conſtanten Ketten hatte, und ſich dieſen Unterſuchungen überhaupt ungleich größere experimentelle Schwierigkeiten entgegenſtellten, als jetzt.

Anwendung des Magnetometers zur Ermittelung der Geſetze des Elektromagnetismus. Durch obige Verſuchsreihe iſt nun die Form der Function zwiſchen Stromſtärke und Stabmagnetismus feſtgeſetzt; die Stromſtärke iſt auf eine beſtimmte Einheit zurückgeführt, die Werthe für die Stärke des Magnetismus ſind aber noch ganz von den Individualitäten des Verſuchs behaftet; um ſie davon zu befreien, müßte man die Werthe für den Stabmagnetismus auf Gauß und Weber's abſolutes Maaß zurückführen, wofür jedoch nicht genug zuverläſſige Data vorliegen. 194

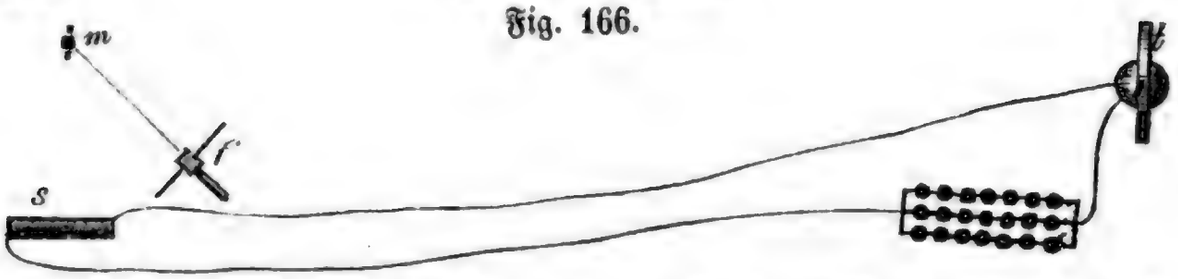
Um einerſeits dieſe Reduction möglich zu machen, anderſeits aber auch den Umfang der Verſuche zu erweitern und ihre Genauigkeit zu erhöhen, ſchritt ich zur Anſtellung einer zweiten Verſuchsreihe, in welcher ich zur Meſſung des Stabmagnetismus ſtatt einer Buſſole ein Magnetometer mit Spiegel anwandte.

Da unſere Mittel nicht ausreichen, um ein Magnetometer von einem derjenigen Mechaniker zu beziehen, welche ſich in Anfertigung dieſer Inſtrumente Ruf erworben haben, ſo war ich genöthigt, mir ſelbſt ein ſolches mit den einfachſten Mitteln herzuſtellen. Es war in einem Erker unſers phyſikaliſchen Cabinets an einem 9 Fuß langen feinen Metalldrahte aufgehängt. Die Magnetiſirungsſpirale war im magnetiſchen Meridian des Magnetometers und zwar nördlich von demſelben aufgeſtellt, und zwar ſo, daß die Mitte der Spirale und die Mitte des Magnetometerſtabs in derſelben Horizontalebene lagen. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß die Axe der Magnetiſirungsſpirale rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian ſtand. Die Länge des von dem Drehpunkt des Magnetometers auf die Axe der Spirale gefällten Perpendikels betrug 217 Centimeter. Die Scala, welche durch das Fernrohr im Spiegel des Magnetometers abgeleſen wurde, war 208 Centimeter weit von der Drehungsaxe des Magnetometers entfernt; ich hatte dieſelbe von Göttingen bezogen, es iſt alſo die allgemeine bei Magnetometerbeobachtungen gebräuchliche in Millimeter getheilte Scala. Die abgeleſenen ganzen Zahlen ſind Centimeter, die Millimeter erſcheinen auf der erſten Decimalſtelle.

Die Aufſtellung der Tangentenbuſſole war dieſelbe wie früher. Die Entfernung der Spirale von der Tangentenbuſſole betrug gegen 100 Fuß.

Dieſer größeren Entfernung wegen war auch eine ſtärkere Batterie nöthig; es wurde bei dieſen Verſuchen eine Säule von 7 dreifachen Bunſen'ſchen Bechern angewandt. Fig. 166 ſtellt die Anordnung dieſer Verſuche dar, *m* iſt das Magnetometer, *f* das Fernrohr.

Fig. 166.



Zunächſt machte ich Verſuche mit einer Magnetiſirungsſpirale, welche Herr Profeſſor Frick mir geliehen hatte; ſie iſt drei Decimeter lang und hat einen inneren Durchmeſſer von 49 Millimetern. Sie beſteht aus 5 Lagen Kupferdraht von 2,8^{mm} Durchmeſſer; jede Lage hat 76 Windungen.

Die eingeſchobenen Stäbe von ganz weichem deutſchen Eiſen waren möglichſt genau cylindriſch abgedreht und 3,3 Decimeter lang, ſie ragten alſo auf jeder Seite 1,5 Centimeter vor. Dieſe Stäbe hatten folgende Durchmeſſer:

	d	$d^{3/2}$	d^2
1	44,5^{mm}	296,8	1980
2	29,8	162,6	888
3	15	58,1	225
4	6	14,7	36

Ich habe hier gleich die Werthe von $d^{3/2}$ und d^2 beigeſetzt, weil dieſelben doch alsbald gebraucht werden.

Die dünnern Stäbe wurden durch Hülſen von Holz in der Axe der Spirale gehalten.

Wurde nun nach eingeſchobenem Eiſenſtab die Kette geſchloſſen, ſo wurde das Magnetometer aus ſeine Gleichgewichtslage abgelenkt, und oscillirte lange um ſeine neue Gleichgewichtslage, welche man dadurch ermitteln mußte, daß man mehrmals hinter einander die Gränzen der Oscillationen beobachtete. Ich habe ſtets 10 Hin- und 10 Hergänge abgeleſen. So wurden z. B., als der Stab Nro. 4 eingeſchoben war und die Spirale von einem Strom durchlaufen wurde, welcher an der Tangentenbuſſole 29,8^0 Ablenkung hervorbrachte, folgende Beobachtungen am Magnetometer gemacht. Die durch das Fernrohr im Magnetometerſpiegel beobachtete Scala ſchwankte:

				Summa
von Theilſtrich	51,65	bis	55,5	107,15
»	51,6	»	55,8	107,4
»	51,7	»	55,8	107,5
»	51,75	»	55,7	107,45
»	51,6	»	55,7	107,3
»	51,65	»	55,85	107,5
»	51,85	»	56,0	107,85
»	51,45	»	55,95	107,40
»	51,5	»	56,1	107,6
»	51,7	»	55,7	107,4
	53,77		Im Mittel	107,45

In der dritten Columne findet man die Summe der bei jeder einzelnen Oscillation beobachteten Gränzen. Das arithmetische Mittel aus dieser Summe halbirt, giebt die Gleichgewichtslage 53,77 an, um welche das Magnetometer schwankte.

Nun wurde der Strom umgekehrt, die Tangentenbussole gab nach entgegengesetzter Richtung eine Ablenkung von 29,3°, die Magnetometerscala schwankte

von Theilstrich	63,7	bis	56,6	. . .	120,3
»	63,7	»	56,6	. . .	120,3
»	63,8	»	56,6	. . .	120,4
»	63,7	»	56,4	. . .	120,1
»	63,4	»	56,6	. . .	120,0
»	63,65	»	56,35	. . .	120,0
»	63,8	»	56,2	. . .	120,0
»	63,9	»	56,4	. . .	120,3
»	63,4	»	56,3	. . .	119,7
»	63,5	»	56,5	. . .	119,8
	60,05			Mittel	120,1

Die folgende Tabelle giebt nun eine Zusammenstellung der Beobachtungen, welche auf diese Weise mit der erwähnten 3 Decimeter langen Spirale und den oben näher bezeichneten 4 Eisenstäben angestellt wurden.

a		*b*			
Tangenten-bussole.	Magneto-meter.	Tangenten-bussole.	Magneto-meter.	*s*	*m*
		Stab Nro. 1.			
40,35	32,7	35,9	76,06	0,785	20,41
36,6	34,74	34,75	74,90	0,718	19,01
19,5	45,61	18,5	64,23	0,344	8,80
7,5	51,76	7,25	58,96	0,129	3,41
		Stab Nro. 2.			
48,4	30,6	44,15	77,42	1,045	21,83
33,5	40,87	32,1	69,55	0,644	13,38
22,6	46,47	22,5	64,64	0,414	8,48
14,75	50,09	14,3	61,2	0,259	5,17
7,5	52,98	7	58,49	0,127	2,56

a		*b*			
Tangentenbussole.	Magnetometer.	Tangentenbussole.	Magnetometer.	*s*	*m*
		Stab Nro 3.			
48	40,51	47	69,89	1,091	13,09
31,9	46,72	30,95	65,80	0,611	8,31
22,75	49,37	22,2	62,5	0,414	5,44
12,5	52,35	12,5	59,45	0,221	3,03
7,4	53,76	7	57,76	0,126	1,81
		Stab Nro. 4.			
41,7	52,28	40,4	60,1	0,871	2,61
29,8	53,77	29,3	60,04	0,567	2,29
21,2	54,22	20,6	59,66	0,382	2,15
12,1	54,7	12	58,9	0,213	1,78
7,1	55,26	7	57,91	0,124	1,14
		Spirale ohne Eisen.			
44,6	53,7	43	56,93	0,959	1,415
34,5	54,18	38	56,2	0,667	1,010

Unter *a* stehen die mit der einen, unter *b* die mit der entgegengesetzten Stromrichtung gemachten Beobachtungen.

Jede der unter der Ueberschrift »Magnetometer« in der 2ten und 4ten Columne stehenden Zahlen ist die aus 10 beobachteten Oscillationen auf die erläuterte Weise abgeleitete Mittelzahl.

In der 5ten Columne unter *s* steht die trigonometrische Tangente des Winkels, welcher das Mittel aus zwei correspondirenden Ablesungen der Tangentenbussole ist; so z. B. ist 0,785 gleich *tang.* $\frac{40{,}35 + 35{,}9}{2} =$ *tang.* (38° 7,2′).

Die Ablenkung des Magnetometers aus dem magnetischen Meridian, welche dieser mittleren Stromstärke entspricht, ist die halbe Differenz der beiden correspondirenden Magnetometerablesungen; der Stromstärke 0,785 entspricht also bei eingeschobenem Eisenstab Nro. 1 die Magnetometerablenkung $\frac{76{,}06 - 32{,}70}{2} = 21{,}68.$

Die Ablenkung des Magnetometers ist aber nicht allein durch den Magnetismus des Eisenstabes, sondern auch durch die Einwirkung des Stromes in der Spirale bewirkt; um die Einwirkung des Stromes in der Spirale rein zu haben, muß man natürlich die Wirkung der Spirale

von der Totalwirkung abziehen. Um dies ausführen zu können, sind die beiden letzten Beobachtungen obiger Tabelle ohne Einschiebung eines Eisenstabes angestellt worden.

Die durch die Spirale hervorgebrachte Ablenkung des Magnetometers beträgt jenen Versuchen zu Folge 1,415 Theilstriche, für die Stromstärke 0,959 und 1,01 Theilstriche für die Stromstärke 0,667; woraus sich als Mittel für die Stromstärke 1 die Magnetometerablenkung 1,494 ergiebt; daraus folgt nun, daß die ablenkende Wirkung, welche die Spirale allein hervorbringt,

für die Stromstärke	0,1	. . . .	0,149
» » »	0,2	. . . .	0,299
» » »	0,3	. . . .	0,448
» » »	0,4	. . . .	0,598
» » »	0,5	. . . .	0,747
» » »	0,6	. . . .	0,896
» » »	0,7	. . . .	1,046
» » »	0,8	. . . .	1,195
» » »	0,9	. . . .	1,344
» » »	1,0	. . . .	1,494 Theilstriche

beträgt, wonach man für jede Stromstärke leicht die Ablenkung berechnen kann, welche die Spirale allein hervorbringt; so berechnet sich die Wirkung der Spirale für die Stromstärke 0,785 folgendermaßen:

für	0,7	 1,046
»	0,08	 0,119
»	0,005	 0,007
also für	0,785	. . . . . 1,172.

Ziehen wir diese Größe ab von 21,68, also von der Totalablenkung, welche bei der Stromstärke 0,785 Spirale und Eisen hervorbringen, so bleibt 20,41 für die Ablenkung, welche der Magnetismus des Eisens allein hervorgebracht haben würde. Die so berechneten Werthe der Stabwirkung finden sich in unserer Tabelle in der 6ten Columne unter *m*.

Diese Werthe von *m* können wir ohne Weiteres als das Maaß für die Stärke des Stabmagnetismus annehmen.

Diese Methode aus den Beobachtungen, die Ablenkung des Magnetometers aus dem magnetischen Meridian zu bestimmen, setzt stillschweigend voraus, daß sich die Lage des magnetischen Meridians während der Dauer zweier correspondirenden Beobachtungen nicht ändert; durch die Umkehrung des Stromes kam aber häufig das Magnetometer in so bedeutende Oscillationen, daß das Spiegelbild über die Gränzen der Scala hinausging, so daß man längere Zeit, einigemale sogar über eine Stunde, war-

ten mußte, ehe man die Ablesungen beginnen konnte. Unterdessen konnnte sich natürlich die Lage des magnetischen Meridians geändert haben, ohne daß man im Stande war, dieser Aenderung Rechnung zu tragen, während zugleich die Stromstärke bedeutend abnahm, so daß die correspondirenden Ablesungen der Tangentenbussole unter a und b oft bedeutend differiren. Von diesem Uebelstande rührt es nun her, daß die aus den Beobachtungen berechneten Resultate weniger genau sind, als man es im übrigen von der Ablesungsmethode hätte erwarten sollen.

Um die Veränderungen in der Lage des magnetischen Meridians zu eliminiren, müßte man gleichzeitig den Gang eines zweiten, hinlänglich weit von der Spirale von dem ersten entfernten Magnetometer beobachten, wozu mir die Mittel fehlten.

Viel ließe sich auch dadurch gewinnen, daß man die Umkehrung des Stromes in einem Momente vornähme, in welchem das oscillirende Magnetometer seine Gleichgewichtslage in einer Richtung passirt, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, nach welcher durch die Umkehrung des Stromes die Richtung des Magnetometers verändert wird. Durch diesen Kunstgriff erreicht man, daß die Oscillationen nicht so groß werden, und daß man alsbald nach Umkehrung des Stromes wieder ablesen kann, daß also in der Zwischenzeit zwischen zwei correspondirenden Beobachtungen keine allzubedeutenden Veränderungen in der Stromstärke und in der Declination vorgehen. Auf diesen Kunstgriff wurde ich leider erst zu spät aufmerksam.

Mit der schon oben erwähnten combinirten blauen und grünen Spirale wurde eine ähnliche Versuchsreihe angestellt. Die eingeschobenen jetzt abgedrehten Eisen waren 57 Centimeter lang und hatten folgende Durchmesser:

	d	$d^{3/2}$	d^2
1 . . .	12^{mm}	41,56	144
2 . . .	9	27	81
3 . . .	7,1	48	50,4

Die Beobachtungsresultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

a		b			
Tangenten-bussole.	Magneto-meter.	Tangenten-bussole.	Magneto-meter.	s	m
Stab Nro. 1.					
37,55	73,08	36	37,01	0,747	16,82
17	69,47	16,5	41,5	0,301	13,09
10,4	67,15	10,3	43,92	0,183	11,61

a		*b*			
Tangenten-bussole.	Magneto-meter.	Tangenten-bussole.	Magneto-meter.	*s*	*m*
		Stab Nro. 2.			
35,6	67,27	34 1	44,02	0,699	9,51
22,1	66,72	22	46,41	0,405	8,95
12,7	65,33	12,35	48,15	0,222	7,93
		Stab Nro. 3.			
39,3	65,30	38,8	47,61	0,811	6,48
34	63,96	33,2	47,40	0,667	6,30
13,8	62,74	12,75	50,55	0,236	5,39
		Die Spiralen ohne Eisen.			
38	57,65	37	53,09	0,767	2,8

Die Erläuterungen, welche für die Tabelle auf Seite 504 gegeben wurden, beziehen sich auch auf diese.

Berechnung der Factoren. Im Paragraph 193 ist bereits nachge- 195
wiesen worden, daß der Zusammenhang zwischen Stromstärke, Stabdurchmesser und der Stärke des Stabmagnetismus durch die Gleichung

$$S = a d^{3/2} \; tang. \frac{m}{b d^2}$$

ausgedrückt ist; es kommt nun darauf an zu untersuchen, wie weit auch die Resultate der beiden letzten mit den Magnetometer angestellten Versuchsreihen mit dieser Gleichung harmoniren. Zunächst müssen wir die Werthe der Factoren a und b zu ermitteln suchen, welche den beiden Versuchsreihen entsprechen. Der einfachste Weg, dies Ziel zu erreichen, scheint der zu seyn, daß nachdem man für einen bestimmten Stab den Zahlenwerth von d in die Gleichung gesetzt hat, nun der Reihe nach die zusammen gehörigen Zahlenwerthe von s und m, wie sie die Beobachtung gegeben hat, zu substituiren und so eine Reihe von Gleichungen zu bilden, in denen nur noch a und b unbekannt sind. Aus je zwei dieser Gleichungen könnte man alsdann a und b berechnen und aus den verschiedenen so erhaltenen Werthen der beiden Constanten a und b das Mittel nehmen.

Dieser Weg ist aber nicht ausführbar, weil die transscendente Form der

Gleichung eine einfache algebraische Auflösung nicht gestattet; ich mußte deshalb versuchen, indirect ans Ziel zu kommen.

Für die dickeren Stäbe sind wenigstens für die geringeren Stromstärken m und s einander proportional, so daß man den Bogen für die Tangente setzen kann; dadurch ist es möglich, das Verhältniß von a zu b, a o den Werth des Quotienten $\frac{a}{b}$, zu ermitteln. Wenn man für die dünnern Stäbe m und s auf diese Weise graphisch construirt; wie es in Fig. 165 für die früheren Beobachtungen geschehen ist, so kann man das absolute magnetische Maximum für einen solchen dünnen Stab durch Zeichnung wenigstens annährend ermitteln, und in Folge davon auch einen angenäherten Werth von b erhalten; ist aber b und $\frac{a}{b}$ bekannt, so läßt sich auch leicht der Werth von a bestimmen.

Die so ermittelten Werthe von a und b, bei deren Bestimmung aber noch keineswegs alle Beobachtungen berücksichtigt worden sind, wurden nun in die Gleichung eingeführt, und dann der zu jedem gegebenen Werth von s gehörige Werth von m berechnet, und die berechneten Werthe von m mit den beobachteten verglichen. — Stellte sich bei dieser Vergleichung heraus, daß die Differenzen zwischen dem berechneten und beobachteten m vorherrschend auf eine Seite fallen, so wurde eine entsprechende kleine Veränderung an den Factoren a und b vorgenommen, und so mit Probiren fortgefahren, bis die Summe der positiven Differenzen der Summe der negativen möglichst nahe gleich war.

Auf diese Weise ergaben sich für die erste Versuchsreihe mit der kurzen Spirale als die wahrscheinlichsten Werthe

$$a = 0{,}015$$
$$b = 0{,}00108,$$

so daß die Gleichung jetzt heißt

$$s = 0{,}016\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{m}{0{,}00108\, d^2}$$

Nach dieser Gleichung ergaben sich folgende zusammengehörige Werthe von m und s.

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
	Stab Nro. 1.		
0,785	20,41	20,06	— 0,35
0,344	8,80	8,81	+ 0,01
0,129	3,41	3,31	— 0,10

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
	Stab Nro. 2.		
0,644	13,38	13,37	— 0,01
0,414	8,48	8,68	+ 0,20
0,259	5,19	5,45	+ 0,26
0,127	2,56	2,68	+ 0,12
	Stab. Nro. 3.		
0,611	8,38	8,09	— 0,29
0,414	5,95	5,83	— 0,12
0,221	3,03	3,23	+ 0,20
0,126	1,81	1,87	+ 0,06
	Stab Nro. 4.		
0,871	2,56	2,91	+ 0,35
0,567	2,29	2,61	+ 0,32
0,382	2,15	2,27	+ 1,2
0,213	1,78	1,64	— 0,14
0,124	1,14	1,08	— 0,06

Für die combinirte grüne und blaue Spirale ergab sich

$$a = 0{,}0042$$
$$b = 0{,}0015,$$

wonach sich folgende zusammengehörige Werthe von m und s ergaben.

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
	Stab Nro. 1.		
0,747	16,82	16,57	— 0,25
0,301	13,09	12,96	— 0,13
	Stab Nro. 2.		
0,699	9,51	9,81	+ 0,30
0,405	8,95	9,03	+ 0,08
0,222	7,93	7,65	— 0,28

s	m		
	beobachtet.	berechnet.	Differenz.
	Stab Nro. 3.		
0,811	6,48	6,40	— 0,08
0,667	6,30	6,32	+ 0,02
0,233	5,39	5,46	+ 0,07

So ist denn auch durch die mit dem Magnetometer angestellten Versuche die Richtigkeit des in §. 193 aufgestellten magnetischen Gesetzes bestätigt worden. Die Differenzen zwischen den beobachteten und den berechneten Werthen von m liegen innerhalb der Gränze der Beobachtungsfehler; zur genaueren Bestimmung der Factoren sind aber allerdings noch genauere Versuchsreihen nöthig.

196 **Reduction der Factoren auf bestimmte Einheiten.** Die Werthe der Factoren a und b, wie dieselben so eben ermittelt wurden, sind noch ganz und gar mit den Individualitäten der Instrumente und des Versuchs behaftet, wir müssen suchen sie von denselben zu befreien.

Der Factor a ändert sich mit der Einheit, die man für die Stromstärke annimmt, b dagegen ist abhängig von der Einheit, die man für das magnetische Moment des Eisenstabes wählt.

Die Reduction des Factors a auf chemisches Maaß ist sehr einfach, man hat die oben für a ermittelten Zahlenwerthe nur mit dem Reductionsfactor der Tangentenbussole, welcher in unserm Falle gleich 70 ist, (Seite 251) und alsdann noch mit der Anzahl der Windungen zu multipliciren, in welchen der Strom um das Eisen herumgeführt wird, also in dem einen Falle mit $76 . 5 = 380$, im andern mit 780; für die kurze Spirale wird also

$$a = 0{,}016 . 380 . 70 = \mathbf{425},$$

für die combinirte blaue und grüne aber ist

$$a = 0{,}0042 . 780 . 70 = \mathbf{229}.$$

Im Paragraph 193 ist diese Reduction von vorn herein vorgenommen worden. Der Factor b ist auf Gauß und Weber's absolute magnetische Maaßeinheit zu reduciren. Zu diesem Zwecke müssen wir zunächst die Ablesungen der Scala in Tangenten des Ablenkungswinkels verwandeln. Es ist bereits angeführt worden, daß ein von der Umdrehungsaxe des Magnetometers auf die Scala gefälltes Perpendikel die Länge von 2080 Millimeter hat; folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels,

welchem 1 Theilstrich der Scala entspricht gleich $^1/_{4160} = 0{,}00024038$. Die Tangente des Ablenkungswinkels, welche einem Centimeter, also der Einheit entspricht, in welcher unsere Werthe von m ausgedrückt sind, ist also 0,0024038, oder es ist $tang.\ v = m\ .\ 0{,}0024038$.

Nun ist aber das magnetische Moment eines Magnetstabes in absolutem Maaß ausgedrückt

$$M = T\ .\ r^3\ tang.\ v$$

oder

$$M = T\ .\ r^3\ .\ m\ .\ 0{,}0024038$$

wo für T der Werth für die magnetische Erdkraft, für r die in Millimetern ausgedrückte Entfernung des Magnetstabes von dem Magnetometer, also in unserm Falle $2170^3 = 10218313000$ zu setzen.

Für Freiburg können wir $T = 2{,}209$ setzen (Seite 252), und so ergiebt sich

$$M = 54260210\ .\ m.$$

Substituiren wir nun in unsere Gleichung M für m, machen wir also den Zähler des Bruches $\frac{m}{b\,d^2}$ — 54260210mal größer, so müssen wir auch seinen Nenner eben so viel mal größer machen, wenn der Werth des Bruches ungeändert bleiben soll; wollen wir also auf absolutes Maaß reduciren, so müssen wir sowohl m als b mit 54260210 multipliciren; und so werden unsere Gleichungen für die kurze Spirale

$$P = 425\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{58600\ d^2} \quad . \ . \ . \ . \quad a)$$

für die combinirte grüne und blaue Spirale aber

$$P = 229\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{81390\ d^2} \quad . \ . \ . \ . \quad b)$$

In diesen Gleichungen bezeichnet P die auf chemisches Maaß reducirte und mit der Windungszahl multiplicirte Stromstärke, M aber das in absolutem Maaß ausgedrückte magnetische Moment des Stabes.

Das absolute Maximum des Stabmagnetismus. Der größte 197
Werth, den $\frac{M}{B\,d^2}$ (wo $B = 542602106$) erreichen kann, ist 90^0, es ist also $M = 90^0\ B\,d^2$ das absolute Maximum, dem sich das magnetische Moment des Stabes mit wachsender Stromstärke mehr und mehr nähert, ohne jedoch dasselbe je vollständig erreichen zu können.

Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, ist aber

$$T\ .\ M\ . = 90\ .\ T\ .\ B\,d^2 = 90\ .\ 2{,}2\ .\ B\,d^2,$$

wenn $T = 2{,}2$, der Werth für Freiburg, gesetzt wird. Für die in die kurze Spirale eingeschobenen 33 Centimeter langen Stäbe haben wir also

$$TM = 90\ .\ 2{,}2\ .\ 58600\ .\ d^2 = 11247000\ d^2.$$

Soll dieser Werth auf die Schwerkraft reducirt werden, so müssen wir ihn noch mit g, also mit 9808 dividiren (Lehrb. d. Phys. 3. Aufl. 2. Bd. S. 48). Es ergeben sich auf diese Weise für die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die bis zum Maximum magnetisirten 33 Centimeter langen Stäbe bei verschiedener Dicke zu drehen strebt, in Milligrammen ausgedrückt, folgende Zahlenwerthe:

Stabdicke in Millimetern.	Drehungsmoment in Milligrammen.
5	28667
10	114670
20	458680
30	1034030
50	2866750
100	11467000

Hätte also z. B. ein 33 Centimeter langer Eisenstab von 20^{mm} Durchmesser das Maximum des Magnetismus erlangt, dem er sich, in die kurze Spirale eingeschoben, mehr und mehr nähert, wenn die Stromstärke wächst, so würde die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab zu drehen strebt, wenn er rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht, gleich seyn dem Druck von 458680 Milligrammen, an einem Hebelarm von 1 Millimeter Länge angebracht, oder, was dasselbe ist, gleich dem Drucke von 45,868 Grammen, welche an einen Hebelarm von 1 Centimeter Länge angreifen.

Die Stäbe von 50 und 100 Millimeter Durchmesser, welche in obigem Tabellchen mit aufgeführt sind, lassen sich freilich nicht in unsere Spirale einschieben; die entsprechenden Werthe des magnetischen Maximums beziehen sich also auf den Fall, daß sie in Spiralen von gleicher Länge, gleicher Windungszahl, aber größerem Durchmesser eingeschoben sind.

Aehnliche Resultate lassen sich auch aus der Gleichung b) für die längeren Spirale berechnen.

198 **Berechnung der Schwingungsdauer der bis zum Maximum magnetisirten Eisenstäbe.** Ist einmal das magnetische Moment eines Stabes bekannt, so ist es leicht, seine Schwingungsdauer für den Fall zu berechnen, daß er, an einem feinen Metalldraht aufgehängt, in horizontaler Ebene frei schwingen könnte; es ist nämlich

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

Setzen wir nun für C seinen Werth $\frac{T.M}{g}$, so kommt

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{T.M}}$$

und also für die in die kurze Spirale eingeschobenen 33 Centimeter langen Eisenstäbe

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{K}{11247000\ d^2}}.$$

Das Trägheitsmoment eines Stabes, welcher um seinen Schwerpunkt oscillirt, ist aber

$$K = \tfrac{1}{3}\ W \frac{l^2}{4},$$

wenn W das Gewicht und l die Länge des Stabes bezeichnet. Für einen 330 Millimeter langen Eisenstab ergiebt sich nach dieser Formel

$$K = 18290000\ d^2$$

also

$$t = 3{,}14 \sqrt{\frac{18290000\ d^2}{11247000\ d^2}}.$$

In dem unter dem Wurzelzeichen stehenden Bruche hebt sich d^2 in Zähler und Nenner, und so ergiebt sich endlich

$$t = 4{,}004 \text{ Secunden.}$$

Für die bis zum Maximum magnetisirten Eisenstäbe ist also die Schwingungszeit von dem Durchmesser unabhängig.

Vergleichen wir diese Resultate mit denjenigen, welche Häcker aus seinen Schwingungsversuchen mit magnetisirten Stahlstäben gezogen hat, und welche oben auf Seite 476 bereits erwähnt sind. Der letzte der 6 Magnetstäbe, welche in der kleinen Tabelle aufgeführt wurden, hat ungefähr gleiche Länge mit den in der kurzen Spirale eingeschobenen Eisenstäben; seine Schwingungszeit ist aber 9,23, also 2,3mal größer, das magnetische Moment jenes Stabes also 5,29mal geringer, als das absolute Maximum eines Eisenstabes von gleichen Dimensionen.

Während für Eisenstäbe, welche bis zum absoluten Maximum magnetisirt sind, die Schwingungsdauer bei gleicher Länge auch für verschiedene Durchmesser dieselbe ist, weil das Trägheitsmoment bei wachsendem Durchmesser in demselben Verhältniß wächst, wie das magnetische Moment, nimmt bei möglichst stark magnetisirten Stahlstäben die Schwingungszeit mit dem Querschnitt zu, die dünneren Stäbe sind also verhältnißmäßig stärker magnetisirt als die dicken.

Berechnung der Stromstärke, welche nöthig ist, um in Eisen- 199
stäben einen aliquoten Theil des absoluten magnetischen Maximums zu erzeugen. Ist einmal für eine Magnetisirungsspirale die Gleichung bekannt, welche bei entsprechender Länge der Stäbe die Stromstärke, den Stabdurchmesser und den Stabmagnetismus verbindet, so kann man nach dieser Gleichung leicht berechnen, wie groß die Stromstärke seyn

muß, welche erforderlich ist, um in einem Stabe von gegebenem Durchmesser einen bestimmten Theil des absoluten magnetischen Maximums zu erzeugen.

Soll z. B. für die kurze Spirale und einen Eisenstab von 33 Centimeter Länge berechnet werden, welche Stromstärke nöthig ist, um die Hälfte des absoluten magnetischen Maximums zu erzeugen, so hat man in Gleichung a) auf Seite 511 $\frac{M}{58600\,d^2}$ gleich 45°, also *tang.* $\frac{M}{58600\,d^2} = 1$ zu setzen; es ist also

$$P = 425\,d^{3/2}.$$

Da nun aber P gleich ist der Stromstärke, multiplicirt mit der Windungszahl, welche in unserm Falle 380 ist, so haben wir für die Stromstärke

$$S = \frac{425}{380}\,d^{3/2} = 1{,}14\,d^{3/2}.$$

Danach ergiebt sich, daß, um in unserer Spirale einen Stab von 5^{mm} Durchmesser bis zur Hälfte seines absoluten Maximums zu magnetisiren, eine Stromstärke $1{,}14 . 5^{3/2} = 12{,}768$, also ein Strom nöthig ist, welcher in der Minute nahezu 13 Kubikcentimeter Knallgas liefert. Wie groß das entsprechende magnetische Moment des Stabes ist, ergiebt sich aus der Tabelle auf Seite 512.

Will man ermitteln, wie groß die Stromstärke sein muß, welche 0,3 des absoluten Maximums erzeugt, so hat man zunächst $\frac{M}{58600\,d^2} = 27°$, also *tang.* $\frac{M}{58600\,d^2} = 0{,}509$ zu setzen und dann in der Weise fort zu rechnen, wie es eben angedeutet wurde.

Auf diese Weise habe ich berechnet, welche Stromstärke nöthig ist, um in einer Spirale von 30 Centimeter Länge und 380 Windungen $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ u. s. w. des absoluten Maximums in 33 Centimeter langen Stäben von 5, 10, 20 u. s. w. Millimeter Durchmesser zu erzeugen und die Resultate in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Durchmesser der Stäbe.	0 1	0,2	0,3	0,4	0,5
5^{mm}	1,9	4,2	6,6	9,4	12,8
10	5,6	11,7	18,3	26	36
20	16	33	52	74	102
30	29	60	95	136	187
40	45	93	146	209	288
50	64	130	205	292	403
75	117	240	377	537	740
100	180	369	580	827	1140

Durchmesser der Stäbe.	0,6	0,7	0,8	0,9
5mm	16	24	39	81
10	49	70	108	227
20	140	199	306	640
30	257	366	561	1178

Wir ersehen aus dieser Tabelle, daß man in einem Stabe von 5mm Durchmesser dem absoluten Maximum mit mäßiger Stromstärke schon ziemlich nahe kommen kann, denn um 0,9 des absoluten Maximums zu erhalten, bedarf es der Stromstärke 81. Um von 0,8 des absoluten Maximums auf 0,9 zu kommen, bedarf es aber schon einer Steigerung der Stromstärke von 39 auf 81; man übersieht hier schon deutlich, daß, wenn man sich des absoluten Maximum nähert, die Vermehrung der Stromstärke nur eine verhältnißmäßig sehr geringe Vermehrung des magnetischen Momentes bewirkt.

Bei einem Stabe von 10mm Durchmesser ist schon eine sehr bedeutende Stromstärke, nämlich 227, also ein Strom, welcher in der Minute 227 Kubikcentimeter Knallgas liefert und an unserer Bussole ungefähr eine Ablenkung von 71,5° hervorbringen würde, nöthig, um 0,9 des absoluten Maximums zu erreichen.

Wenn eine gegebene Stromstärke in einem gegebenen Eisenstab irgend einen aliquoten Theil des absoluten magnetischen Maximums erzeugt, so wird die nämliche Stromstärke einen dickern Stab nicht bis zu demselben Grade magnetisiren können. In einem Stabe von 10mm Durchmesser z. B. erzeugt die Stromstärke 36, die Hälfte des absoluten magnetischen Maximums; vertauscht man diesen Stab mit einem doppelt so dicken, so ist jetzt bei derselben Stromstärke allerdings das magnetische Moment des dickern Stabes größer, als das des dünnern vorher war, allein in jedem einzelnen Theilchen des dickern Stabes ist der Magnetismus keineswegs so stark entwickelt, als es vorhin bei den dünnern der Fall war; wie wir aus der letzten Tabelle ersehen, wird ein Stab von 20mm Durchmesser durch die Stromstärke 36 nur etwas über 0,2 seines absoluten magnetischen Maximums erhalten. Soll der 20mm dicke Eisenstab auch auf 0,5 seines Maximums gebracht werden, so müßte man die Stromstärke bis auf 102 erhöhen.

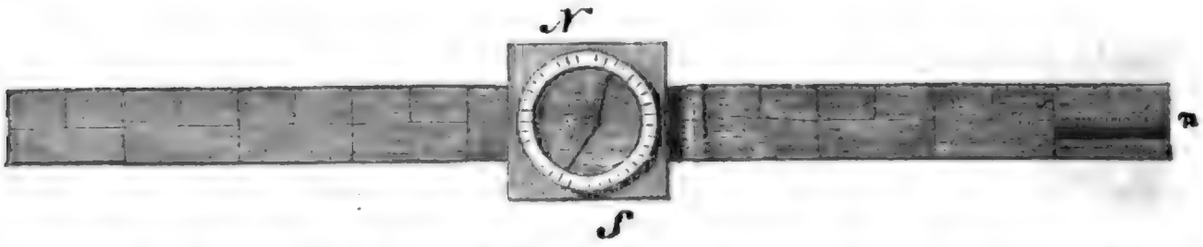
Diese Verhältnisse lassen sich leicht erklären. Gesetzt, ein Eisenstab, sey in die Spirale eingeschoben, durch eine bestimmte Stromstärke bis zu einem gewissen Grade magnetisirt worden; schiebt man nun neben denselben einen zweiten Eisenstab ein, so wirken nun auf jeden Eisenstab zwei entgegenge-

ſetzte magnetiſirende Kräfte, denn der Magnetismus des einen Eiſenſtabes ſtrebt den andern im entgegenſetzten Sinn zu magnetiſiren, wie der Strom in der Spirale, in jedem einzelnen Stabe kann alſo der Magnetismus nicht ſo ſtark entwickelt ſein, als wenn der andere Stab nicht da wäre; durch eine entſprechende Vermehrung der Stromſtärke kann man aber in den combinirten Stäben doch denſelben Grad der Magnetiſirung gleichſam erzwingen, den in dem einzelnen Stabe die geringere Stromſtärke erzeugt.

Was hier von der Einwirkung des einen Stabes auf den andern geſagt wurde, gilt auch von der gegenſeitigen Einwirkung der einzelnen Längenſtreifen unter ſich, in welche man ſich jeden Eiſenſtab zerlegt denken kann.

Betrachten wir die analogen Verhältniſſe bei Stahlmagneten. Legt man, wie Fig. 167 zeigt, einen Magnetſtab öſtlich von der Buſſole auf, ſo er-

Fig. 167.



hält man eine entſprechende Ablenkung; wird nun ein ganz gleicher Magnetſtab bei gleicher Richtung ſeiner Pole weſtlich von der Buſſole in gleicher Entfernung aufgelegt, ſo ſummiren ſich die Wirkungen der beiden Magnetſtäbe, die Ablenkung der Buſſole wird nun doppelt ſo groß ſeyn wie vorher (vorausgeſetzt, daß die Ablenkungen noch klein genug ſind, um die Tangenten den entſprechenden Winkeln proportional zu ſetzen); hätte man aber ſtatt deſſen den zweiten Magnetſtab auf den erſten gelegt und zwar Südpol auf Südpol, Nordpol auf Nordpol, ſo wird man keineswegs eine doppelt ſo große Ablenkung erhalten, wie ſie ein einzelner Magnetſtab hervorbringt.

Dies rührt nun daher, daß der Magnetismus in einem Stahlſtab theilweiſe wenigſtens temporär den im andern aufhebt, ſo daß beide zuſammen weniger ſtark magnetiſirt erſcheinen als ein einzelner. Hier hat man nun kein Mittel, wie die Vermehrung der Stromſtärke bei Eiſenſtäben, welche in eine Magnetiſirungsſpirale eingeſchoben ſind, um in den combinirten Stäben doch wieder denſelben Grad der Magnetiſirung zu erzwingen, daher denn größere Stahlmagnete ſtets ſchwächer magnetiſirt erſcheinen als kleinere, wie wir denn auch oben (Seite 474) geſehen haben, daß die Tragkraft von Stahlmagneten keineswegs ihrem Gewicht proportional zunimmt.

Es wäre wichtig, zu unterſuchen, ob der nachtheilige Einfluß zweier magnetiſchen Stahlſtäbe für verſchiedene Stahlſorten und für verſchiedene Härtungsgrade derſelbe iſt.

Einfluß der Stablänge. Die in den letzten Paragraphen beſpro- 200
chenen Verſuche ſind nicht in der Abſicht angeſtellt worden, um den Einfluß der Länge der Spirale und der Stäbe zu ermitteln, ſie geben deshalb in dieſer Beziehung auch nur ſehr unvollſtändige Auskunft. — Um den Einfluß der Längenverhältniſſe genauer zu erforſchen, hätte man die Längendimenſionen weit mehr abändern und für vollkommen gleiches Verhältniß der Länge der Spirale zur Länge des Stabes ſorgen müſſen.

Die obigen Verſuche ſind nur mit zweierlei Längendimenſionen angeſtellt; einmal mit einer 30 Centimeter langen Spirale, in welche 33 Centimeter langen Stäbe eingeſchoben wurden, dann mit einer Combination von zwei Spiralen, von welchen die innere 54, die äußere 48 Centimeter lang war, während die Länge der eingeſchobenen Stäbe hier 57 Centimeter betrug. Für den erſten Fall haben wir die Gleichung

$$P = 425\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{5860\, d^2},$$

für den letzteren

$$P = 229\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{8139\, d^2}.$$

Die Factoren von $d^{3/2}$, nämlich 425 und 229 ſind ſehr nahe der Länge der entſprechenden Spirale umgekehrt proportional (wenn man bei der Combination der beiden längeren Spiralen die innere als maaßgebend betrachtet); nehmen wir dies Verhältniß als allgemein gerechtfertigt an (wozu jedoch noch weitere Verſuche nöthig ſind), ſo könnte man den Factor a im Mittel gleich $\frac{12558}{l}$ ſetzen, wenn l in Centimeter ausgedrückt iſt, unſere Gleichung hat alſo die Form:

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{b\, d^2} \quad \ldots\ . \quad c)$$

in welcher vor der Hand b noch unerörtert bleiben mag.

$P = S\,W$, d. h. die magnetiſirende Kraft gleich der Stromſtärke, multiplicirt mit der Windungszahl, die Windungszahl iſt aber caeteris paribus proportional der Länge der Spirale, mithin iſt $P = n\,S\,l$, wo n ein conſtanter Factor iſt, der uns hier nicht weiter kümmert; wir haben alſo

$$n\,.\,S\,.\,l = \frac{12558}{l}\ d^{3/2}\ tang.\ \frac{M}{b\, d^2}$$

oder

$$S = \frac{12558}{l^2}\ .\ \frac{d^{3/2}}{n}\ tang.\ \frac{M}{b\, d^2}.$$

Sollen in zwei Spiralen von verſchiedener Länge, aber ſonſt gleicher Einrichtung, zwei Eiſenſtäbe von gleichem Durchmeſſer und einer der Spirale proportionalen Länge bis zu demſelben aliquoten Theil des abſoluten

Maximums magnetisirt werden, so ist die hierzu erforderliche Stromstärke dem Quadrat der Länge umgekehrt proportional

Hat man z. B. eine bestimmte Stromstärke S nöthig, um einen 10^{mm} dicken, 44 Centimeter langen Eisenstab in einer 40 Centimeter langen, aus drei Lagen gebildeten Spirale zur Hälfte seines absoluten Maximums zu magnetisiren, so wird, um in einer halb so langen, ebenfalls aus drei Lagen desselben Kupferdrahtes gebildeten Spirale einen 10^{mm} dicken, aber nur 22 Centimeter langen Eisenstab gleichfalls auf die Hälfte seines absoluten magnetischen Maximums zu bringen, eine Stromstärke ${}_4S$ nöthig.

Gelänge es, in den Factor b der Gleichung c) gleichfalls den Einfluß der Längendimensionen einzuführen und also auch nach dieser Seite hin die Gleichung zu verallgemeinern, so würde die Gleichung c) das von allen Specialitäten entkleidete Gesetz des Elektromagnetismus darstellen.

Auf den ersten Anblick scheint es, als könne wohl der Factor b der Stablänge proportional seyn, allein während der Quotient der Länge $\frac{57}{33} = 1{,}72$ ist, ergiebt sich der Quotient der Factoren $\frac{8139}{5860} = 1{,}38$, eine Differenz, welche zu groß ist, als daß man jene Proportionalität annehmen könnte; sie ist zu groß, als daß sie auf Rechnung von Beobachtungsfehlern gesetzt werden dürfte; nur wenn es sich um eine aller erste ganz grobe Annäherung handelt, welche in manchen Fällen ganz erwünscht seyn dürfte, könnte man den Factor b der Spirallänge proportional setzen, vorausgesetzt, daß Spiral- und Stablänge stets in gleichem Verhältniß stehen; als erste Annäherung könnte man also die Gleichung

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\, tang.\, \frac{M}{172\, l\, d^2}$$

anwenden.

So habe ich denn die Gesetze der Magnetisirung von Eisenstäben durch den galvanischen Strom bis zu dem Punkte entwickelt, daß zum völligen Abschluß nur noch eine genauere Ermittelung des Einflusses erforderlich ist, welchen Stab- und Spiralenlänge ausüben. — Mancherlei Umstände machen es mir gegenwärtig unmöglich, solche Versuchsreihen anzustellen, wie sie zur Lösung dieser Fragen erforderlich wären; ich muß mir dies für eine spätere Zeit vorbehalten, wenn nicht, was mich sehr freuen sollte, geschicktere Experimentatoren, denen auch mehr Hülfsmittel zu Gebote stehen, diesen wichtigen und interessanten Gegenstand aufnehmen und fortführen.

201 **Concentration des Magnetismus auf der Oberfläche magnetischer Körper?** Haldat beschreibt in der Annales de chimie et de Physique (3e série, T. II, p. 457) einige Versuche, welche beweisen sollen, daß der Magnetismus sich vorzugsweise auf der Oberfläche der

Magnete und Elektromagnete verbreitet. So steckte er z. B. in eine Magnetisirungsspirale eine Röhre von Eisen (ein Stück Flintenlauf) und fand die Tragkraft gleich, mochte nun die Höhlung der Röhre frei oder durch einen Eisencylinder ausgefüllt seyn; eben so fand er, daß eine Magnetnadel, in deren Nähe jener Elektromagnet aufgestellt war, gleich schnell oscillirte, es mochte nun ein Eisenstab in der Höhlung stecken oder nicht.

Jedenfalls sind diese Versuche nicht mit hinreichender Umsicht und Genauigkeit ausgeführt, sonst hätten sie nicht zu einem Resultat führen können, welches mit den so eben entwickelten Gesetzen des Elektromagnetismus unverträglich ist.

Ganz direct wird Haldat's Behauptung durch folgenden Versuch Poggendorff's widerlegt.

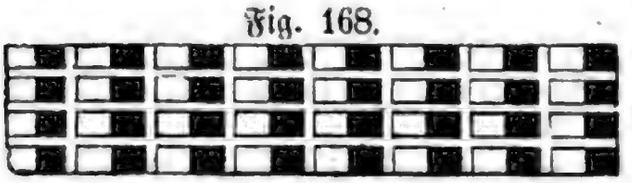
In eine Magnetisirungsspirale von 4 Zoll Länge und 8 Linien innerem Durchmesser paßt ein hohler Eisenkern von $4\frac{1}{2}$ Zoll Länge, der sich willig in die Hülse schieben läßt. In die Höhlung dieses Eisenkerns, welche 4 Linien Durchmesser hat, läßt sich wiederum willig ein 4 Linien dicker massiver Eisenstab einschieben.

Wenn nun diese beiden Kerne in die horizontale Spirale eingeschoben sind, daß die Mitte des hohlen mit der Mitte der Spirale zusammenfällt, der innere solide aber an einem Ende ein wenig, etwa 1 Linie aus dem hohlen hervorragt, so wird der solide Eisenkern in dem Moment, in welchem durch die Spirale eine galvanische Batterie geschlossen wird, bis etwa zur Hälfte gewaltsam herausgestoßen (P. A. LXXIV. 240).

Dies beweist unwiderleglich, daß durch den Strom auch der innere Eisenkern, und zwar gleichnamig mit den hohlen magnetisirt wird.

Vertheilung des Magnetismus in Stahlmagneten und Elektromagneten. Unter diesem Titel findet sich im LXX. Bande von Poggendorff's Annalen S. 1 eine Abhandlung von R. van Rees, deren Inhalt im Wesentlichen folgender ist: Es ist eine bekannte Thatsache, daß in der Mitte eines regelmäßig magnetisirten Stahlstabes kein freier Magnetismus nachzuweisen ist, daß aber die Stärke desselben mit entgegengesetzter Polarität nach den Enden hin zunimmt; wir wissen aber sehr wohl, daß dies nicht daher rührt, daß auf der einen Hälfte des Magnetstabes nur Nord-, auf der anderen nur Südmagnetismus vorhanden ist, sondern daß in jedem einzelnen Eisenpartikelchen eine Trennung der Polaritäten stattfindet, und daß man sich den magnetischen Zustand eines magnetisirten Stahlstabes ungefähr so vorzustellen hat, wie dies durch Fig. 168 versinnlicht wird. 202

Fig. 168.



Van Ree's hat nun Be-

trachtungen darüber angeſtellt, ob wohl durch die ganze Länge des Magnetſtabes hindurch die magnetiſche Polarität der einzelnen Partikelchen gleich ſtark, oder ob ſie in der Mitte des Stabes oder an ſeinen Enden am ſtärkſten entwickelt iſt. In etwas veränderter Form iſt ſeine Schlußweiſe folgende:

In Fig. 169 ſtelle $a\,b$ ein magnetiſches Partikelchen dar, ſo iſt ſeine Wirkung in die Ferne dieſelbe, als ob eine entſprechende Quantität Nord- und Südmagnetismus in zwei Punkten des Partikelchens vereinigt wäre, die zu beiden Seiten gleich viel von ſeiner Mitte abſtehen. Dieſe Punkte können wir nach Belieben in c und d, oder an ſeinen Enden in a und b, oder endlich auch noch etwas über ſeine Enden hinaus in f und g annehmen, d. h. mit anderen Worten: eine beſtimmte Quantität Nord- und Südmagnetismus in f und g, oder eine entſprechende Quantität in a und b, in c und d, würde in die Ferne dieſelbe Wirkung wie das ganze Partikelchen ſelbſt hervorbringen können. Sind nun 1, 2, 3 Fig. 170 eine Reihe magnetiſcher Partikelchen, ſo kann man die entſprechenden Mengen der magnetiſchen Fluida immer in den Punkten vereinigt denken, welche in der Mitte zwiſchen zwei Partikelchen liegen; es wären alſo gewiſſermaßen a und b die Pole von 1, b und c die von 2, c und d die von 3. In a wäre der Nordmagnetismus von 1, in d der Südmagnetismus von 3; in b fällt der Südmagnetismus von 1 und der Nordmagnetismus von 2 zuſammen. Der Nordmagnetismus von 3 fällt mit dem Südmagnetismus von 2 auf den Punkt c.

Fig. 169.

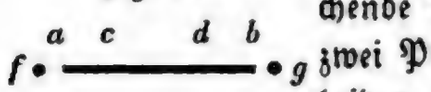
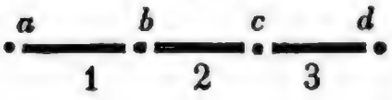
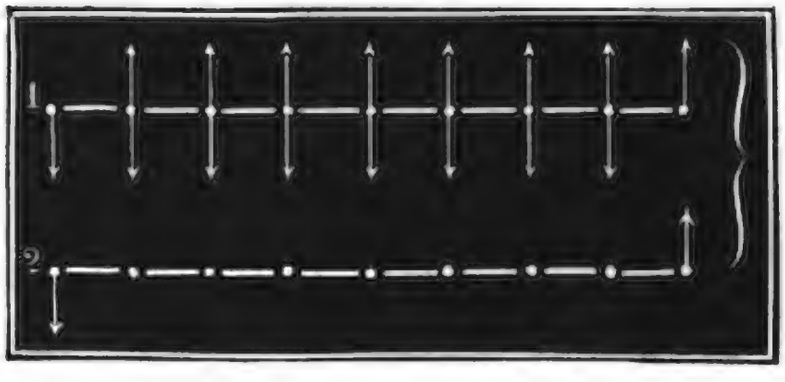


Fig. 170.



Adoptiren wir dieſe Vorſtellungsweiſe, ſo läßt ſich leicht entwickeln, welche Erſcheinungen ein Magnetſtab hervorbringen muß, je nachdem alle ſeine Partikelchen gleich ſtark magnetiſch ſind, oder die Polarität der Partikelchen von der Mitte zu den Enden hin zu- oder abnimmt. Betrachten wir die drei Fälle näher.

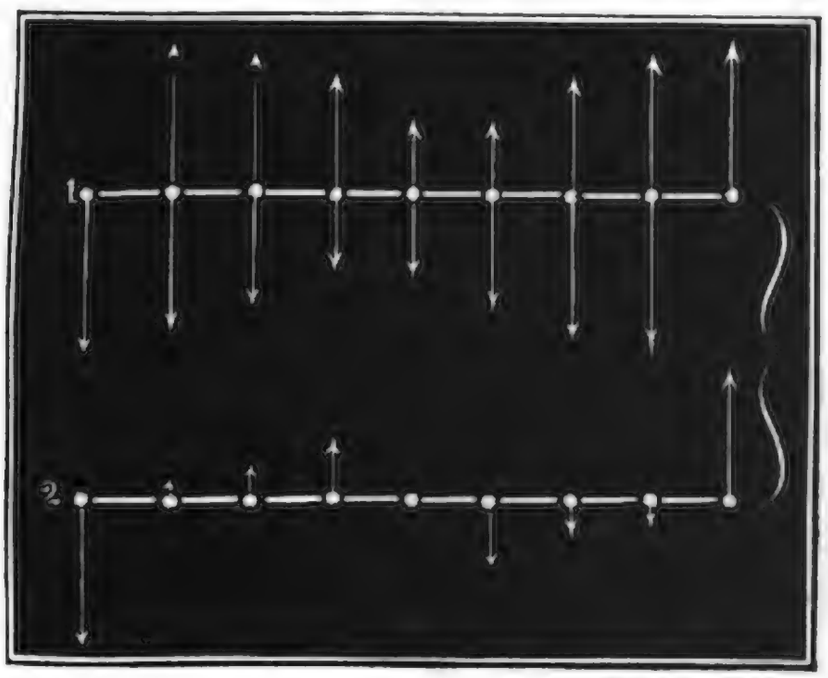
Fig. 171.



1) Die magnetiſche Polarität ſey in allen Partikelchen der ganzen Länge des Stabes nach gleich ſtark entwickelt, ſo ſtellt uns 1. Fig. 171 den Zuſtand eines ſolchen Stabes dar,

wenn wir durch die aufwärts gerichteten Pfeilchen den Nord-, durch die abwärts gerichteten den Südmagnetismus darstellen. Da nun in jedem dieser Punkte gleich viel Nordmagnetismus (dem Theilchen links zugehörig) und gleichviel Südmagnetismus (dem Theilchen rechts zugehörig) zusammenfällt, so kann in allen diesen Punkten kein freier Magnetismus auftreten, und wenn wir nur den freien Magnetismus berücksichtigen, so stellt uns also 2 Fig. 171 den Zustand des Stabes vor. Freier Magnetismus zeigt sich nur an den Endflächen, im übrigen ist der ganzen Länge des Stabes nach kein freier Magnetismus mehr vorhanden. Ein solcher Magnet müßte also nach Außen gerade so wirken, als ob seine Endflächen allein magnetisch wären, und zwar die eine mit Nord- die andere mit Südmagnetismus beladen. Die Pole eines solchen Magneten würden also auch genau auf die Endflächen fallen. Man weiß, daß dies bei gewöhnlichen Magneten nicht stattfindet, daß bei diesen die Pole stets mehr nach Innen liegen. Dagegen ist die Wirkung einer elektromagnetischen Spirale gerade so, wie sie bei einem Magnete seyn würde, dessen einzelne Theilchen alle ein gleich starkes Moment haben. Vielleicht hängt damit zum Theil die von Poggendorff gemachte Beobachtung des verschiedenen Verhaltens hohler Magnetstäbe und galvanischer Schraubendrähte zusammen. Schiebt man vorsichtig eine etwa 9 Linien lange magnetische Nähnadel in die mit einer Glasröhre ausgefütterte Höhlung eines hohlen Magnetstabes, welcher aufrecht steht, und zwar so, daß Nadel und Stab die gleichnamigen Pole nach Oben gekehrt haben, so wird die Nadel nicht herabfallen, sondern zum Theil aus dem Magneten hervorragend, oben schweben.

Fig. 172.



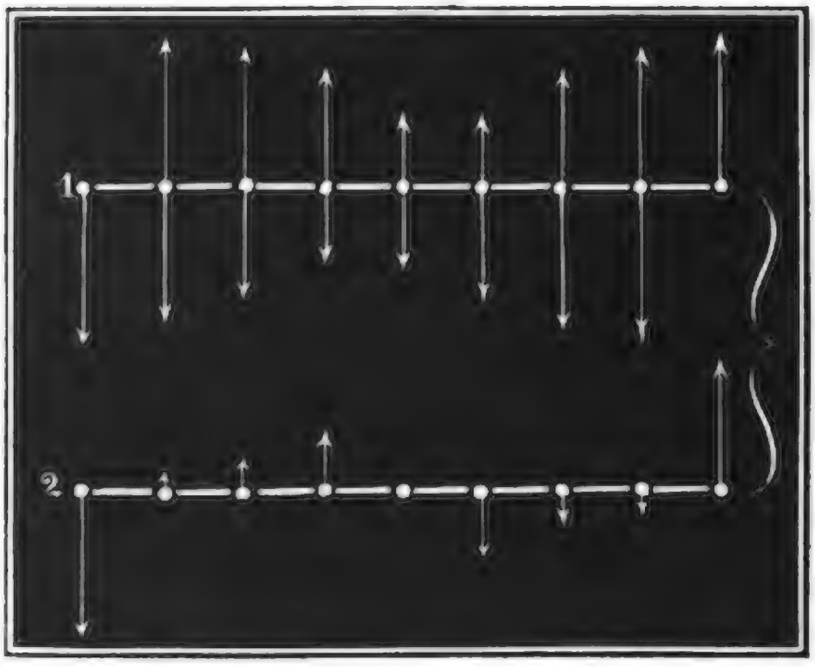
Man kann sie sogar eine Strecke hinunterdrücken, und sie steigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem galvanischem Schraubendraht aber begiebt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Eine nähere Untersuchung dieser

Erſcheinung behufs ihrer theoretiſchen Erläuterung wäre ſehr zu wünſchen.

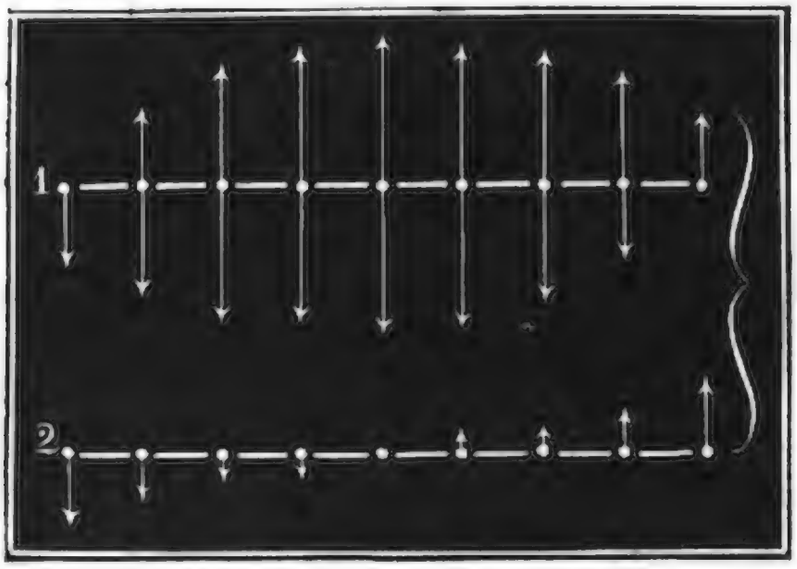
2) Wenn die magnetiſche Polarität der Theilchen in der Mitte am ſchwächſten entwickelt wäre und gegen die Enden hin zunähme, wie dies in 1 Fig. 173 verſinnlicht iſt, ſo würde ſich eine Vertheilung des freien Magnetismus ergeben, wie ſie in 2 Fig. 173 dargeſtellt iſt. In der Mitte des Magneten würde der freie Magnetismus 0 ſeyn und von dort gegen die Enden anfangs zu- und dann wieder abnehmen, um in den entgegengeſetzten Magnetismus überzugehen; auf der einen Hälfte des Stabes wäre alſo freier Nordmagnetismus, während die Endfläche ſüdmagnetiſch iſt; die andere Hälfte mit freiem Südmagnetismus hätte ein nordmagnetiſches Ende. Eine ſo ſonderbare Vertheilung des freien Magnetismus findet bekanntlich bei normal magnetiſirten Stahlſtäben durchaus nicht Statt.

Fig. 173.



3) Nehmen wir an, die magnetiſche Polarität der Theilchen ſey in der Mitte am ſtärkſten entwickelt, und nehme von da nach den Enden hin ab, wie es 1 Fig. 174 verſinnlicht, ſo ergiebt ſich daraus eine Vertheilung des freien Magnetismus, wie ſie in 2 Fig. 174 dargeſtellt iſt. In der Mitte iſt der freie Magnetismus ebenfalls 0; von da wächſt auf der einen Seite der freie Nordmagnetismus, auf der andern der freie Südmagnetismus bis ans Ende.

Fig. 174.



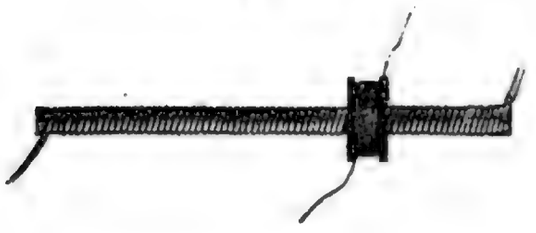
Da dies in der That die Art der Vertheilung des freien Magnetismus in normal magnetisirten Stahlstäben ist, so sind wir zu der Annahme berechtigt, daß in ihnen die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte stärker entwickelt ist, als gegen die Enden hin.

Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch die Thatsache, daß wenn man eine Reihe von Stahlstäbchen hinter einander legt, wie es Fig. 175 angedeutet ist, und sie dann so behandelt, wie einen einzigen langen Stahlstab, den man magnetisiren will, daß alsdann nach dem Auseinandernehmen die Stäbchen einen um so stärkeren Magnetismus zeigen, je näher sie während des Streichens der Mitte lagen.

Fig. 175.

Auch in Elektromagneten findet diese Vertheilungsweise Statt, auch hier sind die magnetischen Polaritäten der einzelnen Theilchen in der Mitte des Stabes stärker entwickelt als an den Enden. Jakobi und Lenz haben dies auf experimentellem Wege nachgewiesen (P. A. LXI. 271.). Die Eisenstäbe wurden in eine Magnetisirungsspirale geschoben, welche nur durch eine Lage eines $^3/_4$ Linien dicken Kupferdrahtes gebildet war. Auf dieser Magnetisirungsspirale war nun eine 1 Zoll lange aus 123 Windungen eines dünnen Drahtes bestehende Inductionsspirale verschiebbar, wie es Fig. 176 angedeutet ist. Der durch die Unterbrechung des Magnetisirungsstromes in der kurzen Spirale hervorgerufene, größtentheils von dem verschwindenden Magnetismus des Eisenstabes herrührende Inductionsstrom zeigte sich am stärksten, wenn die Inductionsspirale sich in der Mitte zwischen den beiden Enden des Eisenstabes befand; er nahm um so mehr ab, je näher die Inductionsspirale dem Ende des Stabes war.

Fig. 176.



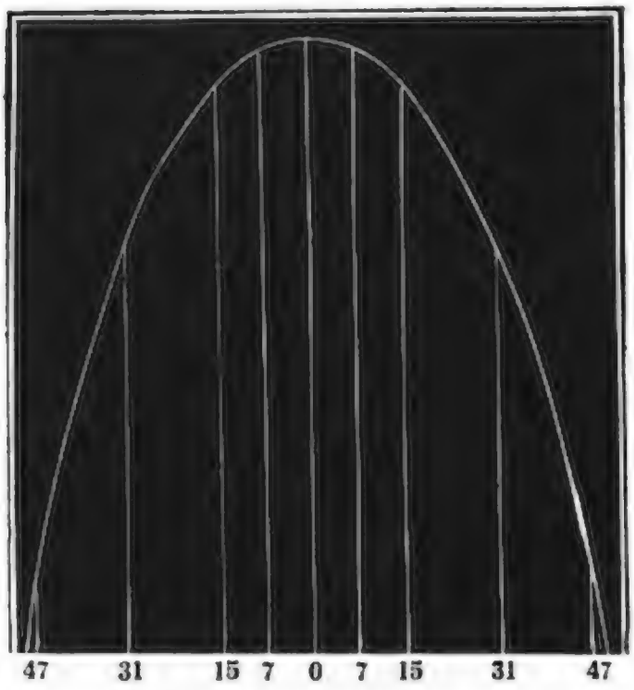
Auf diese Weise wurden Versuche mit vielen Eisenstäben von verschiedener Länge angestellt, die folgende Tabelle theilt als Beispiel die Resultate der Versuche mit den längsten dieser Stäbe (4′ lang) im Auszug mit.

Entfernung der Mitte der Inductionsspirale von der Mitte der Stange.	Halber beobachteter Ablenkungswinkel $^1/_2\ \alpha$.	$\sin.\ ^1/_2\ \alpha$.
0	31° 48′	0,527
7	31 22	0,520
15	29 21	0,490
31	21 10	0,361
47	3 57	0,069

Die Einheit, nach welcher die Entfernungen in der ersten Columne gezählt sind, ist ½ Zoll. Die Zahlen der zweiten Columne sind das Mittel aus zwei Beobachtungen, welche in gleichen Entfernungen von der Mitte auf der rechten und linken Seite angestellt wurden. Die Tabellen des Originals enthalten die Beobachtungen für die Entfernungen 1, 3, 5 u. s. w., kurz für alle ungeraden Werthe die Entfernung von der Mitte bis ans Ende.

Nach obiger Tabelle ist die graphische Darstellung, Fig. 177. entworfen, und zwar sind die Abscissen der Entfernung von der Mitte, die Ordonaten den entsprechenden Werthen von *sin.* ½ α proportional.

Fig. 177.



Lenz und Jakobi halten sich für berechtigt, anzunehmen, daß der gemessene Inductionsstrom proportional sey der ganzen Quantität des magnetischen Fluidums, welches in dem unmittelbar unter der Inductionsspirale befindlichen Stabstück zerlegt ist, demnach würde die Kurve Fig. 177. das Gesetz der wahren magnetischen Vertheilung in einem 4füßigen Magneten darstellen. Diese Kurve erscheint in der That nahe zu als eine Parabel, deren Gleichung

$$z = a - bx^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

ist, in welcher z die Stärke der magnetischen Vertheilung in einem Querschnitt des Eisenstabes bezeichnet, dessen Entfernung von der Mitte x ist. a und b sind Constante, welche für jeden Stab besonders bestimmt werden müssen.

Diese Formel stimmt für die mittleren Theile des Stabes ziemlich gut mit den Beobachtungen überein, gegen das Ende des Stabes aber werden die Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung zu groß, als daß man sie auf Rechnung von Beobachtungsfehlern setzen könnte.

V. Rees hat das Gesetz der wahren Vertheilung des Magnetismus in einem Magnetstab aus den Beobachtungen abzuleiten gesucht, welche Coulomb über Vertheilung des freien Magnetismus in magnetisirten Stahldrähten angestellt hat, und ist auf diese Weise zu der Gleichung

$$z = a - b\,(m^x + m^{-x}), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

der Gleichung einer Kettenlinie gelangt, in welcher z und x dieselbe Bedeutung haben wie in Gleichung 1) Seite 524, a, b und m aber drei Constante sind, die für jeden Magnetstab besonders bestimmt werden müssen.

Van Rees hat nun gezeigt, daß auch für elektromagnetische Eisenstäbe die Kettenlinie das Gesetz der wahren Vertheilung des Magnetismus weit treuer darstelle, als die Parabel, und die von Lenz und Jakobi angestellten Beobachtungen weit besser mit Gleichung 2) als mit Gleichung 1) übereinstimmen.

Auch für Stahlmagnete wurde von V. Rees die Induction angewandt, um das Gesetz der wahren Vertheilung des Magnetismus experimentell zu bestimmen. Da man aber den Magnetismus eines Stahlmagneten nicht plötzlich vernichten kann, wie beim Elektromagneten, so muß die Induction durch Bewegen der Inductionsspirale hervorgebracht werden. V. Rees verfuhr so, daß er die Inductionsspirale, von der Mitte des Magnetstabes, so wie von verschiedenen andern Stellen ausgehend, über das nächste Ende des Stabes schnell abstreifte; und die entsprechende Ablenkung eines in den Schließungsbogen der Inductionsspirale eingeschalteten Multiplicators beobachtete; die folgende Tabelle giebt die Resultate, welche er mit einem 50 Centimeter langen Magnetstabe und einer 20 Millimeter langen Inductionsspirale erhielt.

Entfernung von der Mitte.	Ablenkung der Nadel.
0	46° 38′
4	45 56
8	44 19
16	37 24
30	9 30

Aehnliche Versuchsreihen hat er noch mit anderen Magnetstäben angestellt.

Bezeichnet man die Entfernung der Mitte der Inductionsspirale von der Mitte des Stabes, unmittelbar vor den Beginn des Abstreifens mit x, den Sinus des entsprechenden halben Ablenkungswinkels mit z, so passen die zusammengehörigen Werthe von x und z recht gut in die Gleichung 2). V. Rees nimmt nun an, daß der Sinus des Ablenkungswinkels ein Maaß sey für das magnetische Moment derjenigen Stelle des Magnetstabes, welche von der Spirale bedeckt wurde, als man dieselbe abzustreifen begann. Eine Rechtfertigung dieser Ansicht hat V. Rees

nicht für nöthig gehalten, mir aber scheint ihre Zulässigkeit noch sehr zweifelhaft, denn auf die Stärke des Inductionsstromes wirken alle Stellen des Stabes, über welche die Spirale hingeschoben, nicht bloß die, von welchen aus sie weggezogen wird. Ebenso halte ich es nicht für erwiesen, daß bei den Versuchen der Petersburger Physiker der Inductionsstrom lediglich von der bedeckten Stelle der Spirale herrührt; sie führen zwar zur Begründung ihrer Ansicht die Thatsache an, daß die Spirale, nur etwas über das Ende des elektromagnetischen Eisenstabes hinausgeschoben, kaum einen merklichen Inductionsstrom zeigt; wenn aber auch das schwach magnetische Stabende in der ihm nahe gehaltenen Spirale nur einen sehr schwachen Strom erzeugt, so folgt daraus noch keineswegs, daß man den Einfluß der benachbarten Schichten auch dann vernachlässigen dürfe, wenn die Spirale wirklich auf den Stab aufgeschoben ist, einmal, weil man es hier mit stärker magnetischen Schichten zu thun hat, als am Stabende, und dann, weil die Wirkungen der benachbarten Schichten auf der einen und der andern Seite sich unterstützen. Es ist demnach allerdings noch zweifelhaft, ob die Methode der Inductionsströme, wie sie Lenz und Jakobi, oder wie sie V. Rees anwandte, unmittelbar zum Gesetz der wahren Vertheilung des Magnetismus in Elektromagneten oder in Stahlmagneten führen kann.

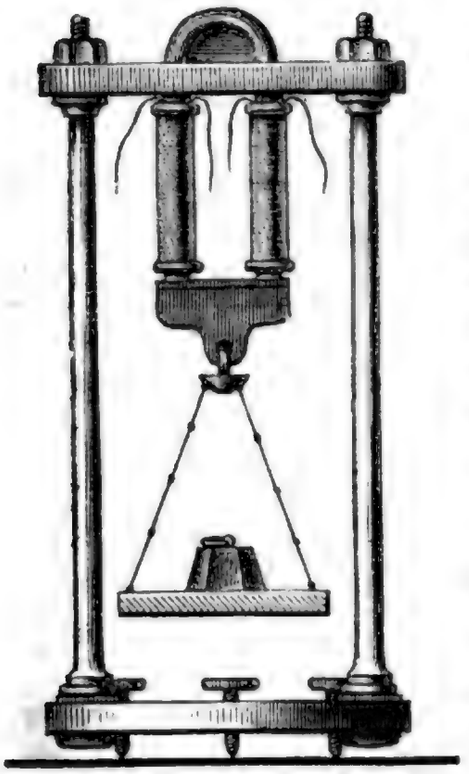
Meine oben, in Paragraph 194 angeführten Versuche scheinen ebenfalls darauf hinzudeuten, daß in einem elektromagnetischen Stabe der Magnetismus keineswegs der ganzen Länge nach gleichförmig entwickelt ist; wäre dies der Fall, so müßte der Factor b der Stablänge proportional sein, während ich ihn für den längeren Stab verhältnißmäßig kleiner gefunden habe. Höchst wahrscheinlich würden solche Versuche, mit Stäben und Spiralen von sehr verschiedener Länge ausgeführt, Anhaltspunkte liefern, um auf das Gesetz der wahren magnetischen Vertheilung in Elektromagneten einen Schluß zu ziehen.

203 **Neue Versuche über die Tragkraft der Elektromagnete.** Nachdem meine Untersuchungen über das magnetische Moment von Elektromagneten zur Ermittelung wichtiger Gesetze geführt hatte, sah ich mich veranlaßt auch über die Tragkraft der Elektromagnete neue Versuche anzustellen.

Da die Mittel unserer Anstalt es nicht erlaubten, zur Messung der Tragkraft von Elektromagneten so genau gearbeite Hebelapparate anzuwenden, wie sie von Lenz und Jakobi sowohl als auch von Pfaff benutzt und in den bereits citirten entsprechenden Abhandlungen beschrieben wurden, so beschränkte ich meine Versuche auf kleinere hufeisenförmige Elektromagnete, bei welchen ein directes Anhängen der Last noch

wohl thunlich war. Der Apparat, welchen ich anwandte und welcher auch für Vorlesungsversuche ganz zweckmäßig sein dürfte, ist Fig. 178 abgebildet.

Fig. 178.



In einem runden oder ovalen Brette, welches mit drei Stellschrauben versehen ist, sind zwei eiserne Säulchen befestigt, welche Oben ein Querstück von Holz tragen; durch zwei Löcher desselben ist das Uförmige weiche Eisen gesteckt, und in seiner Mitte noch durch ein halbkreisförmiges Holzklötzchen getragen.

Die Versuche erstrecken sich auf sechs Hufeisen; drei davon, I., II. und III. hatten einen Durchmesser von 10 Millimeter, während die drei folgenden IV., V. und VI. nur 6,5 Millimeter Durchmesser hatten. Die unter dem Tragbrettchen hervorragenden Schenkel hatten folgende Längen

I. und IV.	. . .	16,5 Centimeter
II. und V.	. . .	8,5 »
III. und VI.	. . .	5 »

Auf diese Schenkel wurden nun die Magnetisirungsspiralen aufgeschoben; sie waren auf Hülsen von Holz gewickelt, die einen inneren Durchmesser von 12^{mm} hatten; sie wurden mit Hülfe von Korken auf den dünneren Eisen befestigt. Solcher Spiralen wurden 4 Paar in Anwendung gebracht, welche folgende Einrichtung hatten.

I.	bestand	aus	2	Lagen,	jede	von	123	Windungen,	Länge	14 Centimeter.
II.	»	»	4	»	»	»	57	»	»	6,8 »
III.	»	»	2	»	»	»	51	»	»	6,8 »
IV.	»	»	2	»	»	»	24	»	»	3 »

Außer den Magnetisirungsspiralen war natürlich auch noch die Tangentenbussole in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet.

Der Anker war ähnlich geformt, wie bei den Logeman'schen Magneten, über das Tragbrett hingen Schnüre herab, welche den Anker gleich nach den Abreißen auffangen mußten. Die Wagschale war von einer kleiner Brückenwage genommen. Anker und Wagschale zusammen hatten ein Gewicht von 375 Gramm.

Unter dem Brette der Wagſchale war ein Holzklotz angebracht, ſo daß beim Abreißen des Ankers die Wagſchale aufgefangen wurde, und zwar noch um etwas früher, als der Anker ſelbſt in den bereits angeführten Schnüren.

Die folgende Tabelle giebt die Reſultate der auf dieſe Weiſe angeſtellten Verſuche.

Eiſen.	Spirale.	v	n . *lang* v	Tragkraft in Grammen.
I.	I.	2,5	22	7100
—	—	6,1	53	8500
—	—	10,1	87	9800
—	—	13,4	117	10400
—	II.	3,6	29	8300
—	—	6°	48	9300
—	—	11°	85	10500
—	—	14,5	118	10700
—	—	18,2	150	11100
—	III.	2°	7	3900
—	—	4,4	16	6500
—	—	6	21	7500
—	—	11,75	43	9000
—	—	13	47	9600
—	—	15	54	10000
—	IV.	2,75	5	1900
—	—	3,75	6	3600
—	—	6,25	10	5300
—	—	17,1	29	7900
—	—	18°	31	8400
II.	II.	3,5	28	7400
—	—	6,25	50	9100
—	—	11,5	93	9700
—	—	15	120	10400
—	III.	3,75	13	4600
—	—	5,75	21	5700
—	—	9,25	33	7200
—	—	17	61	8300
III.	IV.	4,5	8	3100
—	—	13°	22	7400
—	—	20	26	8400

Eisen.	Spirale.	n	$n \cdot tang\ v$	Tragkraft in Grammen.
IV.	I.	2,5	22	2300
—	—	4,1	35	3100
—	—	5,5	47	3700
—	—	6,4	54	4000
—	—	9,5	72	4600
—	—	14	122	5200
—	—	19	169	5400
—	II.	2	16	2000
—	—	3,25	26	3000
—	—	6	48	4000
—	—	8,75	70	4600
—	—	13,5	109	5300
—	—	18,5	152	5500
—	III.	7	25	2400
—	—	11,25	41	3800
—	—	15,25	56	4500
—	—	21	78.	5000
V.	II.	3,75	30	3200
—	—	7,5	60	4700
—	—	10	80	5100
—	—	13,5	109	5400
—	III.	10,4	37	3900
—	—	13,25	48	4400
—	—	17,75	65	4900
—	IV.	4,5	8	1100
—	—	12	20	2900
—	—	14,5	25	3300
—	—	19	33	3700
VI.	—	4	7	1300
—	—	12	20	3400
—	—	19	33	3700

Die dritte Columne dieser Tabelle enthält unter v die an der Tangentenbussole abgelesenen Winkel, die vierte aber enthält das Product der trigonometrischen Tangente der Ablenkungswinkel mit der Anzahl der Windungen, in welchen der Strom um das Eisen herumgeführt ist; die Spirale Nr. I. z. B. hat 2 Lagen von 123 Windungen, also zusammen 246 Windungen. Nun aber steckt an jedem Schenkel des Eisens eine solche Spirale, folglich ist n in diesem Falle 492. Für die Spirale II. ist $n = 456$; für III. ist $n = 204$, für IV. ist $n = 96$.

Wir können das Product $n\ tang.\ v$ füglich mit dem Namen der magnetisirenden Kraft bezeichnen.

Für die dicken und dünneren Elektromagnete wurde derselbe Anker angewandt.

Die letzte Columne enthält die Angabe des Gewichtes (Gewicht des Ankers der Wagschale und des auf dieselbe gelegten Gewichtes) in Grammen ausgedrückt, bei welchem der Anker abriß.

Ein oberflächlicher Blick auf diese Tabelle zeigt schon, daß die Tragkraft auch nicht entfernt dem Quadrat der magnetisirenden Kraft proportional ist.

204 **Einfluß der Länge des Eisens und der Spiralen auf die Tragkraft.** Betrachten wir die Versuche, welche mit dem Eisen Nr. I, also dem längsten unter den drei dickern Eisen angestellt wurden, so sehen wir, daß bei gleicher magnetisirenden Kraft nahe zu dieselbe Tragkraft erzielt wird, mag man nun eine längere oder kürzere Spirale anwenden, was noch deutlicher hervortritt, wenn man diese Tabelle graphisch vorzeichnet. Die kürzeste aller Spiralen Nr. IV. giebt für die magnetisirende Kraft 6 die Tragkraft 3600, während mit der doppelt so langen Spirale Nr. III. die Tragkraft 3900 mit der magnetisirenden Kraft 7 erhalten wird. — Für die magnetisirende Kraft 29 erhält man nahe zu gleiche Tragkräfte mit der IV. und II. Spirale. — Die längste Spirale scheint verhältnißmäßig die geringste Wirkung zu geben, denn während bei der dritten Spirale den magnetisirenden Kräften 21 und 54 die Tragkräfte 7500 und 10000 entsprechen, finden wir für die lange Spirale für die magnetisirenden Kräfte 22 und 53 nur die Tragkräfte 7100 und 8500; übrigens mögte das Zurückbleiben in der Wirkung der langen Spirale gegen die übrigen in den Beobachtungsfehlern seinen Grund haben, zu welcher Annahme wir um so mehr berechtigt sind, als sich bei den Beobachtungsreihen mit dem längeren dünnen Eisen Nr. IV. die lange Spirale Nr. I. ebenso wirksam zeigt als die andern, und ferner, weil auch die Spiralen Nr. II. und III. in ihrer Wirkung keineswegs gegen die der kürzesten Nr. IV. zurückbleiben. Unsere Versuchsreihen rechtfertigen also den Schluß:

Wenn um ein Uförmig gebogenes Eisen ein galvanischer Strom in einer bestimmten Anzahl von Windungen herumgeführt wird, so erlangt es dieselbe Tragkraft, mögen nun diese Windungen die ganze Länge der Schenkel bedecken, oder nur über einen Theil der Schenkel in mehreren Lagen übereinander liegen.

So haben die Spiralen I. und II. fast gleich viel Windungen, welche bei I. eine lange Spirale mit zwei Lagen, bei II. eine kürzere mit 4 Lagen bilden; im Effect sind sich beide Spiralen gleich.

Auch ist es ziemlich gleichgültig, an welcher Stelle der Schenkel die Spiralen angebracht sind. Das Eisen Nr. I. erhielt durch die kurze Spirale Nr. IV. bei gleicher Stromstärke fast genau dieselbe Tragkraft, mogte nun die Spirale ganz unten bei den Polen sich befinden, oder möglichst weit hinauf bis an das Tragbrett geschoben seyn.

Betrachten wir nun den Einfluß, welchen die Länge der Schenkel des Eisens auf die Tragkraft ausübt. — Die gleich dicken aber ungleich langen Eisen, Nr. IV., V. und VI. zeigen bei gleicher magnetisirender Kraft nahezu gleiche Tragkraft; bei den dickeren Eisen sehen wir freilich II. gegen I. zurückbleiben, da aber das kürzeste der dickeren Eisen Nr. III. kein solches Zurückbleiben gegen Nr. I, zeigt, so dürfen wir die geringere Wirkung des Eisens Nr. II. wohl zufälligen Umständen zuschreiben; lassen wir aber die mit dem Eisen Nr. II. angestellten Versuche unberücksichtigt, so führen uns alle übrigen Versuche zu dem Schluß:

Die Länge der Schenkel eines Elektromagneten hat unter übrigens gleichen Umständen keinen Einfluß auf die Tragkraft desselben.

Die längern Schenkel gewähren nur insofern einen Vortheil, als sie mehr Drahtwindungen aufnehmen können.

Beziehung der Tragkraft zu den übrigen Gesetzen des Elektro- 205
magnetismus. Nachdem die obigen Versuche einige Anhaltspunkte zur Ermittelung der Gesetze der Tragkräfte geliefert hatten, lag es nun nahe, sie mit dem durch die Gleichung auf Seite 507 gegebenen Gesetz des elektromagnetischen Momentes von Eisenstäben zu vergleichen. — Während in jener Gleichung die Factoren a und b noch von der Länge der Elektromagnete abhängen, werden in einer entsprechenden Gleichung für die Tragkräfte diese Factoren von den Längendimensionen unabhängig seyn, wie dies aus den Beobachtungen des vorigen Paragraphen hervorgeht.

Lenz und Jakobi nahmen an, daß die Tragkraft der Elektromagnete dem Quadrat des erregten Magnetismus proportional seyn müsse, und diese Annahme ist auch ohne allen Zweifel richtig, nur ist die Stärke des Mag-

netismus nicht der Stromſtärke proportional, wie dies jetzt genügend dargethan iſt. Iſt aber die Tragkraft t dem Quadrat des im Eiſen erregten Magnetismus m proportional, ſo können wir in unſre Gleichung $\sqrt{t}$ ſtatt m ſetzen, und erhalten ſo die Gleichung

$$s = a\, d^{3/2}\ tang.\ \frac{\sqrt{t}}{b\, d^2} \quad . \ . \ . \ . \ 1),$$

welche die Beziehung zwiſchen Stromſtärke und Tragkraft der Elektromagnete darſtellt. Es iſt nun zu unterſuchen, in wiefern unſere Verſuche über Tragkraft mit dieſer Formel harmoniren. Setzen wir $a = 0{,}603$, $b = 0{,}02035$, ſo wird für die dünneren Hufeiſen die Gleichung

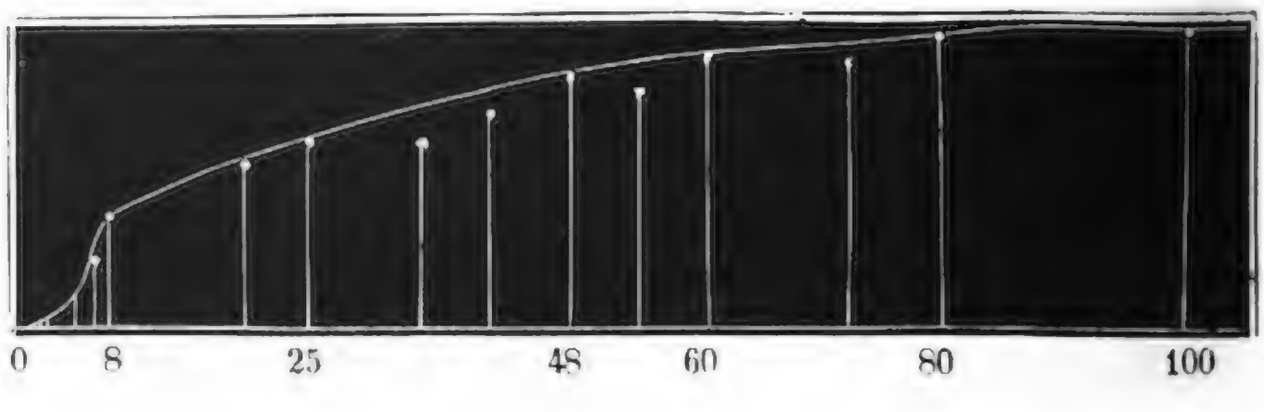
$$s = 10\ .\ tang.\ \frac{\sqrt{t}}{0{,}86} \quad . \ . \ . \ . \ 2);$$

ſetzen wir für s die magnetiſirende Kraft, d. h. die Stromſtärke multiplicirt mit der Anzahl der Windungen der Spirale, ſo ergeben ſich folgende zuſammengehörige Werthe von s und t, denen zur Vergleichung die beobachteten Werthe von t beigeſetzt ſind.

s	t		
	berechnet.	beobachtet.	Differenz.
2	94 Gr.	—	—
5	529	—	—
8	1109	1100	9
25	3434	3300	134
48	4529	4400	129
60	4761	4700	61
100	5256	—	—
152	5506	5500	6

Nach dieſer Gleichung iſt denn auch die Kurve Fig. 179 conſtruirt; als

Fig. 179.



Abscissen sind die Werthe von s, als Ordinaten die berechneten Werthe von t aufgetragen, um leichter übersehen zu können, in wiefern sich die Gleichung der Beobachtung anschmiegt, ist auch eine Reihe beobachteter Werthe von t in derselben Figur aufgetragen und durch Punkte bezeichnet worden. — Die Constanten unserer Gleichung, 10 und 0,86 sind absichtlich so gewählt, daß die Curve nicht etwa mitten durch die beobachteten Punkte hindurchgeht, sondern über die höchsten hinweggeführt wird, weil begreiflicherweise diejenigen Beobachtungen als die besten anzusehen sind, welche relativ die größten Tragkräfte liefern. Wie man sieht, schließt sich die Curve diesen relativ größten beobachteten Tragkräften recht gut an.

Für die dickeren Stäbe paßt die Gleichung

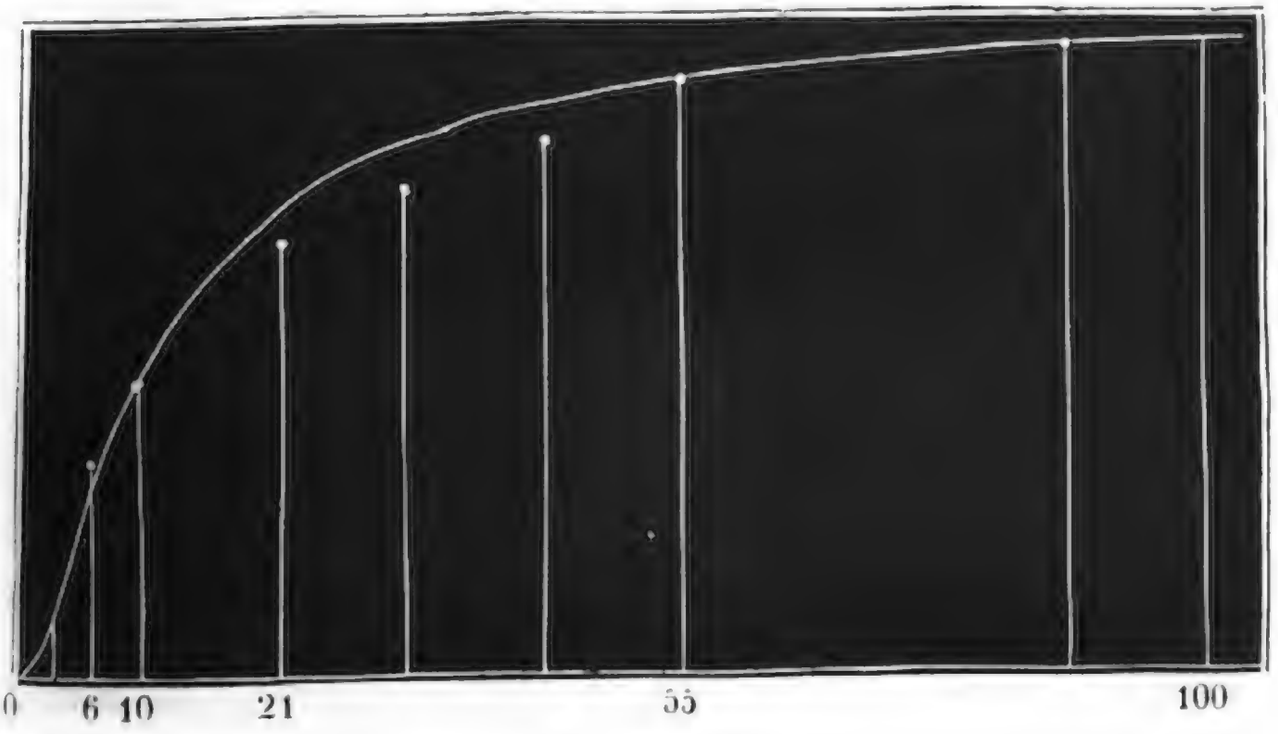
$$s = 5{,}5 \; tang. \; \frac{\sqrt{t}}{1{,}2} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 3).$$

In der folgenden Tabelle sind einige nach dieser Gleichung berechnete Werthe von t mit den beobachteten zusammengestellt.

s	t	
	berechnet.	beobachtet.
6	3249	3600
21	8151	7500
54	10201	10000
118	10983	10700
150	11130	11100

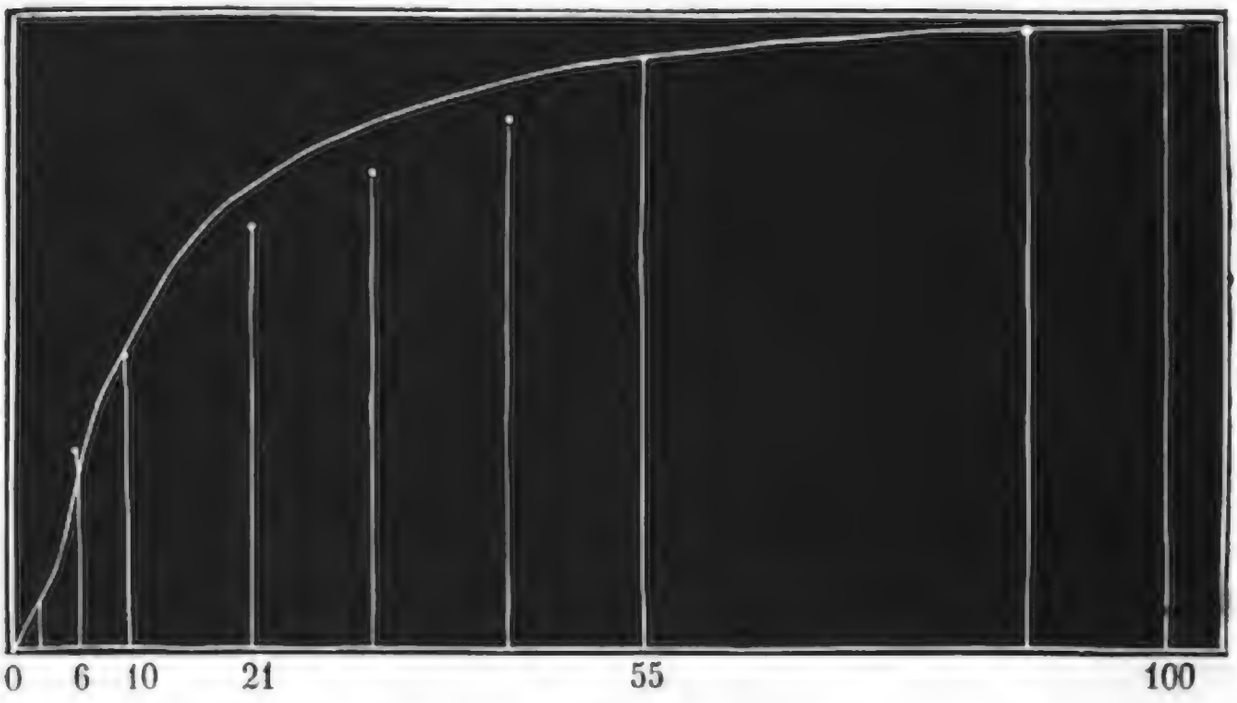
Die Curve, Fig. 180 ist nach der Gleichung 3 in demselben Maßstab

Fig. 180.



construirt, wie Fig. 179. Zur Vergleichung sind auch einige beobachtete Punkte aufgetragen. Die Constanten der Gleichung 3 hätten sich wohl so bestimmen lassen, daß sich die Curve noch etwas besser den Beobachtungen

Fig. 181.



anschlösse, da jedoch die Gleichung nur eine ganz specielle Bedeutung hat, so mag diese Annäherung wohl genügen.

Es ergiebt sich nun aus diesen Versuchen unzweifelhaft, daß die Tragkräfte der Elektromagnete keineswegs immer dem Quadrate der Stromstärke proportional sind. Diese Proportionalität wird sich nun da finden, wo ein dickes Eisen mit wenig Windungen umgeben ist, welche von schwächeren Strömen durchlaufen werden. Je mehr die Dicke der Eisen abnimmt, je mehr Windungen die Magnetisirungsspirale hat und je stärker die angewandten Ströme sind, desto mehr wird man sich von diesem quadratischen Verhältnisse entfernen.

Unsere Versuche zeigen ferner, daß jedem Elektromagnet ein (wie wir sogleich sehen werden, mit der Natur des Ankers veränderliches) Maximum der Tragkraft zukommt. Bezeichnen wir dieses Maximum mit t', so muß für die dünneren Elektromagnete $\frac{\sqrt{t'}}{0{,}86}$ und für die dickeren $\frac{\sqrt{t'}}{1{,}2}$ gleich 90 seyn, daraus ergiebt sich als Maximum. der Tragkraft für die dickeren der obigen Elektromagnete 11664 Gramme, für die dünneren aber 5991 Gramme.

Die Tragkraft der Elektromagnete hängt, wie wir dies schon oben, Seite 490 gesehen haben, wesentlich von der Gestalt des Ankers ab. Hätten wir für die dickeren Elektromagnete einen Anker angewandt, für wel-

chen zwiſchen der Tragkraft und dem im Elektromagneten erregten Magnetismus das gleiche Verhältniß ſtattgefunden hätte, wie bei den dünnern, ſo müßte man die Tragkräfte der Elektromagnete I., II. und III. nach der Gleichung 1 berechnen können, wenn man für die Conſtanten a und b diejenigen Werthe ſetzt, wie ſie ſich aus den mit dem Elektromagneten IV, V und VI. angeſtellten Verſuchen ergeben, nämlich $a = 0{,}603$ und $b = 0{,}02035$. Die Beziehung zwiſchen Stromſtärke und Tragkraft wäre alsdann für die 10^{mm} dicken Elektromagnete

$$s = 19 \; tang. \frac{\sqrt{t}}{2{,}035} \quad . \; . \; . \; . \; 4).$$

Wie ſehr aber die nach Gleichung 4 berechneten Tragkräfte den nach Gleichung 3 berechneten differiren, ergiebt ſich aus folgender Zuſammenſtellung:

s	t berechnet	
	nach 3	nach 4
21	8154	9127
54	10201	19881
118	10983	25921
150	11130	27225

man ſieht alſo, wie weit die an den dickeren Elektromagneten beobachteten Tragkräfte hinter denen zurückbleiben, welche man nach den mit den dünneren angeſtellten Verſuchen hätte erwarten ſollen. Man begreift dies Zurückbleiben aber ſehr gut, wenn man bedenkt, daß derſelbe Anker für die dickeren und die dünneren Elektromagnete gebraucht wurde, und daß alſo derſelbe für die dickeren Elektromagnete verhältnißmäßig klein war. —

Nach Gleichung 4 würde das Maximum der Tragkraft für die 10^{mm} dicken Elektromagnete 33489 Gramme ſeyn. Da für das Maximum der Tragkraft

$$\frac{\sqrt{t}}{b \; d^2} = 90,$$

ſo iſt alſo

$$t = 90^2 \; . \; b^2 \; . \; d^4,$$

d. h. das Maximum der Tragkraft würde alſo im Verhältniß der vierten Potenz des Durchmeſſers der Elektromagneten wachſen, wenn es möglich wäre, für alle Dicken die entſprechenden Anker zu finden.

Ein Elektromagnet unsers physikalischen Cabinets hat einen Durchmesser von 35^{mm}; jeder der Schenkel ist mit 480 Windungen umgeben. Wenden wir auf diesen Elektromagneten die Gleichung 1 mit den Constanten $a = 0{,}603$ und $b = 0{,}02035$ an, welche aus den Versuchen abgeleitet sind, die mit den $6{,}5^{mm}$ dicken Elektromagneten angestellt werden, so erhalten wir für diesen großen Elektromagneten die Gleichung

$$s = 124 \cdot tang. \frac{\sqrt{t}}{24},$$

wo für s die Tangente des an der Tangentenbussole durch den Strom hervorgebrachten Ablenkungswinkels, multiplicirt mit 960 (der Anzahl oer Spiralwindungen um beide Pole), zu setzen ist.

Dieser Gleichung nach wäre das Maximum der Tragkraft für diesen Elektromagneten 4666 Kilogramme, also über 9000 Pfund.

Einem Strom, für welchen $v = 2{,}6^0$ (welcher $2{,}6^0$ Ablenkung an der Tangentenbussole hervorbringt), entspricht nach dieser Gleichung eine Tragkraft von 214 Kilogrammen; der Versuch ergab nur 86 Kilogramme.

Bei einem Strom, für welchen $v = 5{,}5^0$, wurde die Tragkraft gleich 125 Kilogrammen gefunden, während sie nach jener Gleichung 767 Kilogrammen seyn sollte.

Die Tragkraft des Elektromagneten ist keine so einfache Function der Stromstärke wie das magnetische Moment, aus dem sehr begreiflichen Grunde, weil die Tragkraft nicht allein von dem im Elektromagneten erregten Magnetismus, sondern auch von der Natur des Ankers abhängt; der Einfluß des Ankers ist aber noch keineswegs genügend studirt, um demselben bei Construction der Formeln Rechnung tragen zu können.

Wenn die Elektromagnete durch Vergrößerung des Querschnitts im Stande sind, gleichsam eine größere Menge freien Magnetismus aufzunehmen, so kann ihre Tragkraft nur dann in einer dem vermehrten Magnetismus entsprechenden Weise zunehmen, wenn auch im Anker eine gleiche Vermehrung des freien Magnetismus stattfinden kann, d. h. wenn der Querschnitt des Ankers und der Berührungsfläche in gleichem Verhältnisse wächst, wie der Querschnitt des Elektromagneten.

Während nun auf der einen Seite die Vergrößerung des Querschnitts des Ankers denselben befähigt, eine größere Menge freien Magnetismus aufzunehmen, wird auf der andern Seite durch Vergrößerung der Berührungsfläche die Vollkommenheit der Berührung beeinträchtigt, und so kommt es denn, daß die Tragkraft größerer Elektromagnete weit hinter dem zurückbleibt, was man nach den Versuchen hätte erwarten sollen, die mit kleinen Elektromagneten angestellt wurden.

Man sieht aus alle dem, daß, wenn es nur darauf ankommt, Elektro-

magnete von großer Tragkraft zu construiren, man ohne Vergrößerung der Dimensionen, ohne Vermehrung der Windungen und ohne Anwendung außergewöhnlich großer Batterien noch Vieles durch Verbesserung in der Construction der Anker und durch Veränderung der Gestalt des Querschnitts der Elektromagnete erreichen kann.

Jedenfalls sind nun zunächst genauere und umfassende Untersuchungen über den Einfluß der Anker von der größten Wichtigkeit.

Ist die Magnetisirung eines Eisenstabes als eine Arbeit des galvanischen Stromes zu betrachten. Bei der Vergleichung verschiedener Wirkungen des elektrischen Stromes ist bisher ein Gesichtspunkt ganz außer Acht gelassen worden, nämlich die Beantwortung der Frage: Ob und in wiefern eine bestimmte Wirkung des elektrischen Stromes als eine Arbeit desselben zu betrachten ist oder nicht. 206

Zunächst ist hier der Begriff der Arbeit festzustellen.

Eine jede mechanische Arbeit beruht in der Ueberwindung eines Widerstandes, wodurch stets ein Theil der bewegenden Kraft in Anspruch genommen wird. Ein durch seine Schwere niederfallender Körper verrichtet nur in sofern eine Arbeit, als er einen seinem Falle entgegenstehenden Widerstand überwindet; ein frei fallender Körper verrichtet keine Arbeit.

Dem entsprechend kann man auch nur diejenigen Wirkungen des galvanischen Stromes als eine Arbeit desselben betrachten, deren Hervorbringung nothwendig die Ueberwindung eines Widerstandes erfordert.

Da aber die Ueberwindung eines Widerstandes stets einen Theil der beschleunigenden Kraft gleichsam consumirt, so wird auch jede Arbeit des galvanischen Stromes mit einer entsprechenden Verminderung der Stromstärke verbunden seyn, gerade so wie auch ein niedersinkender Körper einen Theil seiner Fallgeschwindigkeit einbüßt, wenn er bei seinem Falle einen Widerstand überwinden muß.

Wird in eine durch einen dicken Kupferdraht geschlossene galvanische Batterie ein Voltameter eingeschaltet, so nimmt die Stromstärke augenblicklich ab. Die Wasserzersetzung ist also eine Arbeit für den galvanischen Strom.

Ebenso verhält es sich mit dem Erwärmen und dem Glühen von Metalldräthten durch den Strom.

Halten wir an dem aufgestellten Begriffe fest, so ist das Magnetisiren eines weichen Eisens durch den Strom keine Arbeit für denselben.

Wenn der Strom einer galvanischen Batterie durch eine Magnetisirungsspirale und eine Tangentenbussole geleitet ist, welche hinreichend weit von einander aufgestellt sind, so wird in dem Augenblicke, in welchem man

einen Eisenstab in die Spirale einschiebt, die Nadel der Tangentenbussole allerdings momentan durch einen Inductionsstrom afficirt, sie kehrt aber sogleich wieder zu ihrer früheren Stellung zurück und zeigt dieselbe Ablenkung, wenn der Eisenstab ruhig in der Spirale liegen bleibt, als ob er ganz entfernt wäre.

Der Strom wird also durch die Magnetisirung des Eisenstabes nicht im mindesten geschwächt.

Dies Resultat hätte sich wohl voraussehen lassen, denn wenn die Magnetisirung eine Arbeit des galvanischen Stromes wäre, so müßte auch umgekehrt ein Magnet, welcher ruhig in einer Spirale liegt, einen continuirlichen Strom in derselben erzeugen können, was bekanntlich nicht der Fall ist.

Die Magnetisirung eines weichen Eisens vermindert also die Stromstärke nicht; sobald aber in Folge der Anziehungen und Abstoßungen des Elektromagneten eine Bewegung hervorgebracht, also ein mechanischer Effect ausgeübt wird, tritt augenblicklich eine entsprechende Verminderung der Stromstärke ein, wie wir dies sogleich bei der näheren Betrachtung elektromagnetischer Motoren sehen werden

207 **Versuche zur praktischen Benutzung der elektromagnetischen Triebkraft.** Wenige Zweige der Physik haben sich einer so raschen Entwickelung zu erfreuen, als der Galvanismus, und wenige haben in so kurzer Zeit so viele Früchte für das praktische Leben getragen. Galvanoplastik, galvanische Vergoldung und Versilberung, das Sprengen von Felsen durch Galvanismus, und vor Allem die elektrische Telegraphie, sind technische Anwendungen der galvanischen Elektricität, welche sich erst in den zwei letzten Decennien entwickelt haben.

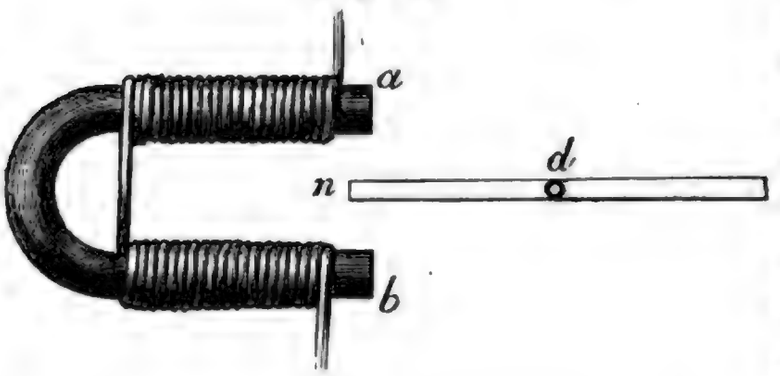
Weniger glücklich als in den eben angeführten Beispielen sind die Bemühungen gewesen, das galvanische Licht in die Praxis einzuführen, wie dies bereits auf Seite 418 angeführt wurde, und eben so wenig Erfolg hatten die Versuche, welche angestellt wurden, um den Elektromagnetismus als Triebkraft zu benutzen.

Das wichtigste, was bis zum Jahre 1838 auf diesem Felde geschehen war, hat Vorßelmann de Heer in einem Aufsatze zusammengestellt, welcher sich im 47sten Bande von Poggendorff's Annalen (S. 76) befindet. Demzufolge war Dal Negro in Padua der Erste, welcher einen Apparat verfertigte, in welchem der Elektromagnetismus als bewegende Kraft angewandt wurde; mit diesem Apparate konnte eine Last von 180 Grammen in einer Minute 1 Meter hoch gehoben werden; dies war der Nutzeffect des ersten elektromotorischen Motors, dessen Beschreibung sich in einer Abhandlung: Nuova Macchina elettro magnetica immagi-

nata dall' ab Salvatore Dal Negro, die sich in den Annali delle scienze del Regno Lombardo Veneto, März 1834, befindet.

Wenn ich Vorßelmann's Beschreibung recht verstanden habe, so war die Einrichtung der Maschine Dal Negro's im Wesentlichen folgende: Die beiden Pole *a* und *b*, Fig. 182, eines Ufórmigen Elektromagneten standen vertical übereinander und zwischen beiden oscillirte um eine horizontale Axe *d*, sich drehend, der eine Pol *n* eines stabförmigen Stahlmagneten; *n* wird sich nach *a* hin bewegen, wenn *a* die entgegengesetzte Polarität von *n* hat; sobald aber *n* bei *a* angekommen ist, wird durch eine entsprechende Vorrichtung der Strom der Magnetisirungsspirale umgekehrt, jetzt wirkt also *a* abstoßend, *b* anziehend auf *n*. Sobald aber in Folge davon *n* bei *b* ankommt, erfolgt eine abermalige Commutation, welche *n* wieder in die Höhe treibt u. s. w. Die oscillirende Bewegung des Magnetstabes wird nun auf eine geeignete Weise in eine Rotationsbewegung verwandelt.

Fig. 182.



In Deutschland construirte zuerst Jakobi einen elektromagnetischen Motor, bei welchem unmittelbar eine rotirende Bewegung erzeugt wird. Er machte diesen Apparat und die damit angestellten Versuche in einem Schriftchen bekannt, welches im Jahre 1835 zu Potsdam unter dem Titel: Mémoire sur l'application de l'électromagnetisme au mouvement des machines, par M. H. Jacobi, erschien. In Poggendorff's Annalen (XXXVI, 366.) findet sich nur eine kurze Andeutung über die Einrichtung der Maschine und eine genauere Beschreibung des an ihr angebrachten Commutators.

Die Construction der Maschine ist im Wesentlichen folgende: Eine verticale Holzscheibe, die um eine horizontale Axe drehbar ist, trägt seitwärts, rechtwinkelig gegen ihre Ebene, also in horizontaler Lage, vier Hufeisen von weichem Eisen, deren Enden, wenn man die Scheibe dreht, dicht vor den Enden vier anderer Hufeisen vorübergehen, welche gleichfalls in horizontaler Lage unverrückbar an einem Holzgestell befestigt sind. Sämmtliche Hufeisen sind durch Umwickelung mit dem Schließungsdraht einer Volta'schen Säule zu Elektromagneten gemacht, und zwar in der Art, daß im Kreise herum sowohl bei den beweglichen als bei den festen, Nord- und Südpol immer mit einander abwechseln. Angenommen nun, daß ursprüng-

lich die gleichnamigen Pole einander gegenüberstehen, so ist klar, daß die Scheibe, wenn man ihr einen geringen Stoß ertheilt, in der Richtung desselben so weit fortgehen wird, bis die ungleichnamigen Pole einander gegenüberstehen, also bis sie etwa $^1/_8$ des Kreisumfanges zurückgelegt hat; in diesem Momente werden aber nun durch einen passenden Commutator die Pole der festen oder der beweglichen Elektromagnete umgekehrt und dadurch, indem die Commutation nach jeder Achtelumdrehung wieder eintritt, eine continuirliche Rotation unterhalten.

Der erste elektromagnetische Wagen wurde von Stratingh und Becker zu Gröningen construirt und in der »Letterbode« vom December 1835 beschrieben. Der Motor war nach dem Princip von Ritchie's rotirendem Elektromagneten construirt.

Wahrscheinlich unbekannt mit den Leistungen der beiden Niederländer verfertigte Botto in Turin einen ähnlichen Wagen, dessen Beschreibung man in der Bibliothèque universelle (Août 1836) findet. Mit dem Motor, welcher diesen Wagen in Bewegung setzte, konnte man in 4 Secunden ein Gewicht von 8 Kilogrammen 1,5 Meter hoch heben; es wären demnach 25 Botto'sche Maschinen nöthig, um die Wirkung einer Pferdekraft hervorzubringen.

In Amerika hat man sich mit vielem Eifer auf die Anfertigung elektromagnetischer Motoren gelegt. Page, Callan, Davenport haben den Elektromagnetismus auf verschiedene Weise als bewegende Kraft angewandt; der Letztere hat sogar ein Patent auf die Einführung elektromagnetischer Motoren in den Vereinigten Staaten erlangt Dieser Davenport ist ein Hufschmidt in einem Dorfe bei Rütland, im Staate Vermont, ein Mann voll Eifer und Ausdauer, der aber, nach dem was man von ihm in Sillimann's Zeitschrift liest, mit dem wissenschaftlichen Theil der Sache so gut wie ganz unbekannt ist.

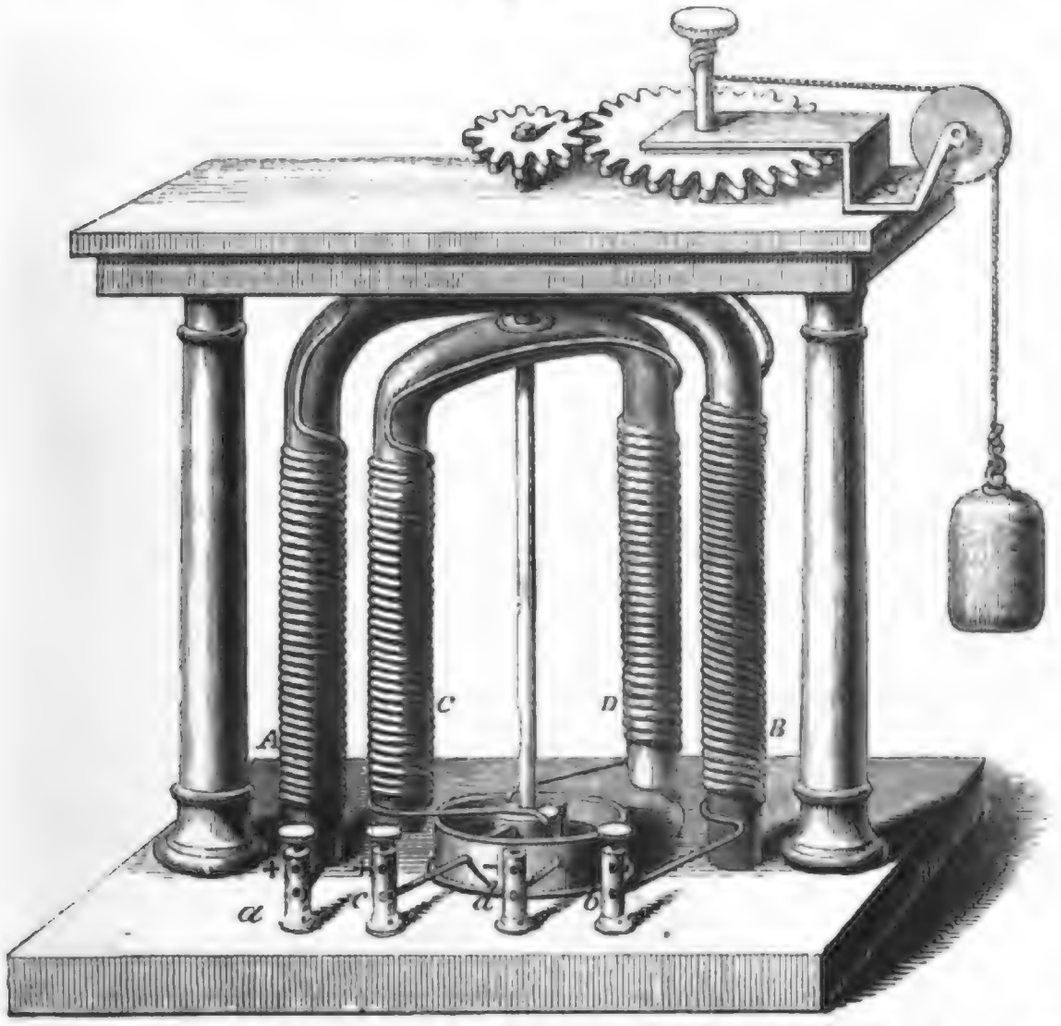
Aehnliches finden wir übrigens, wenn auch nicht ganz in dem Maße, noch bei vielen Andern, die sich mit dieser Aufgabe beschäftigt haben. Voll Eifer für die Sache geben sie sich den sanguinischsten Hoffnungen hin, wenn es ihnen gelingt, einige oft ganz sinnreiche und zweckmäßige Anordnungen oder Verbesserungen an den Apparaten anzubringen, während sie in Beziehung auf die Hauptfrage ganz und gar im Dunkeln umhertappen, weil es ihnen an den nöthigen Vorkenntnissen fehlt, um den mechanischen Effect ihrer Vorrichtungen gehörig zu würdigen.

Davenport meint, mit zwei Elektromagneten könne man die größten Maschinen mit weniger Kosten als durch Dampf treiben, und Callan sagt, wenn seine Berechnung richtig sey, so koste der Elektromagnetismus zur Fortschaffung von Wagen auf einer Eisenbahn höchstens $^1/_4$ so viel als der Dampf.

Vorßelmann spricht sich nun einerseits gegen solche, aller soliden experimentellen Begründung entbehrenden Schwindeleien, auf der andern Seite aber auch dagegen aus, daß man ohne weitere Prüfung über die praktische Anwendbarkeit des Elektromagnetismus als Triebkraft den Stab bricht.

Bei Ritchie's rotirendem Elektromagnet sowohl, als auch bei Jakobi's Apparat wirken bloß die Pole der festen Elektromagnete auf die rotirenden. Vorßelmann ist der Meinung, daß wohl unter sonst gleichen Umständen eine größere Wirkung erreicht werden könne, wenn die Elektromagnete ihrer ganzen Länge nach auf einander wirken, wie dies später auch in dem Apparate Fig. 183 der Fall war. Nach dieser Figur

Fig. 183.



läßt sich auch Vorßelmann's Apparat verständlich machen: man denke sich um die Rotationsaxe nicht zwei Arme *C* und *D*, sondern statt dessen vier in rechten Winkeln von einander abstehende, nicht weiter mit einander verbundene Elektromagnete, welche zwischen vier festen der Rotationsaxe gleichfalls parallelen Elektromagneten rotiren, wie *C* und *D* zwischen *A* und *B*.

Bei dem Apparat Vorßelmann's steht aber die Rotationsaxe nicht vertical, sondern sie ist horizontal, so daß vier horizontale Elektromagnete

zwischen vier festen und gleichfalls horizontalen rotiren, was natürlich eine andere Einrichtung des Commutators voraussetzt, welcher übrigens gleichfalls ein Quecksilber-Commutator ist.

Vorßelmann deutet nun den Weg an, welchen man gehen müsse, um die Frage über die praktische Anwendbarkeit des Elektromagnetismus als bewegende Kraft zur Entscheidung zu bringen; er entwickelt, daß die Lösung abhängt von der Beantwortung folgender drei Einzelfragen:

1. Wie hängt die bewegende Kraft der elektromagnetischen Motoren von der erregten Magnetkraft ab?

2. Wie wird die Magnetkraft durch die entwickelte Elektricitätsmenge bestimmt?

3. Wie hängt die entwickelte Elektricitätsmenge mit der verbrauchten Zinkmenge zusammen?

Die beiden letzten Fragen können wir gegenwärtig wohl als genügend beantwortet betrachten, die ganze Schwierigkeit des Gegenstandes liegt also in der ersten Frage concentrirt.

Zu Ende der Dreißiger und zu Anfang der Vierziger Jahre wurde nun die elektromagnetische Triebkraft sehr lebhaft ventilirt; ganz besonders waren in dieser Sache Jakobi, der unterdessen nach Dorpat und von da nach Petersburg übersiedelte, und Wagner in Frankfurt thätig.

Bereits im Jahre 1838 hatte es Jakobi dahin gebracht, durch eine elektromagnetische Maschine ein Boot auf der Newa zu treiben. Es war 26 Fuß lang und $8\frac{1}{2}$ Fuß breit. Es wurde mit Schaufelrädern nach Art der Dampfschiffe ausgerüstet und der elektromagnetische Motor nebst dem galvanischen Apparate darauf gebracht. Die Maschine nahm nur den geringen Raum von $1\frac{1}{4}$ Fuß Breite und $2\frac{1}{12}$ Fuß Länge ein; die Batterien, aus 320 constanten Zinkkupfer-Elementen (jede Platte von 36 Quadratzoll) bestehend, waren längs den Seitenwänden des Schiffes angebracht, so daß sich außerdem noch 12 Personen mit Bequemlichkeit auf demselben befanden.

Mit diesem Boote gelang es nun, die Newa zu befahren und selbst gegen den Strom aufzukommen, wo dieser nicht zu reißend war. In 2 bis 3 Stunden wurde eine Tour von 7 Werst (1 Werst = 3285 par. Fuß) auf der Newa und in den Kanälen zurückgelegt. (Dingler's polyt. Journal, 71. Band, Seite 411.)

Im folgenden Jahre wurde ein Boot von 28 Fuß Länge, $7\frac{1}{2}$ Fuß Breite und $2\frac{3}{4}$ Fuß Tiefe im Wasser, welches 14 Personen trug, mit einer Geschwindigkeit von $2\frac{1}{4}$ engl. Meilen (1 engl. Meile = 4957 par. Fuß) in der Stunde auf der Newa fortgetrieben. Die elektromagnetische Maschine war die frühere, sie wurde aber durch eine Batterie von 64

constanten Zinkplatinelementen getrieben. Die Kraft, mit welcher die Maschine arbeitete, betrug $^3/_4$ bis 1 Pferdekraft. (P. A. LI. 358.)

Mit ganz besonderem Interesse verfolgte man in Deutschland die Arbeiten Wagner's in Frankfurt, obgleich er dieselben ziemlich geheim hielt und nur einzelne Andeutungen über seine Fortschritte im Publikum bekannt wurden. Der Fürst von Fürstenberg, als Förderer wissenschaftlicher und industrieller Unternehmungen rühmlichst bekannt, stellte ihm behufs der Anfertigung seiner Apparate und der Anstellung seiner Versuche die fürstlichen Werkstätten zu Riesdorf bei Stockach zur Disposition, wo Wagner sich mehrere Monate aufhielt und sich vorzugsweise mit der Anfertigung elektromagnetischer Wagen beschäftigte.

Welche Erwartungen man damals von Wagner's Erfindungen hegte, ersieht man besten aus einem Vortrage, welchen v. Reden bei der 18ten Versammlung deutscher Naturforscher in Erlangen gehalten hat, und welcher im »Allgemeinen Organ für Handel und Gewerbe, Nr. 123, S. 539« abgedruckt wurde, von wo er auch in Dingler's polytechnisches Journal, (78ster Band, Seite 332) überging. Es folgen hier die wichtigsten Stellen aus diesem Vortrage, weil sie sehr gut den Standpunkt Wagner's charakterisiren, welcher, wie man sehen wird, das Gebäude seiner Hoffnungen doch auf einer ziemlich unsicheren Grundlage aufgeführt hat. Es mögte in der That schwer halten, für manche der darin ausgesprochenen Behauptungen einen Beweis zu finden.

»Zu denjenigen unserer Landsleute, welche viel Zeit und Studium auf »den Elektromagnetismus verwendeten, gehört auch Herr Wagner in »Frankfurt a. M., welchem durch rastlosen Eifer bei viel natürlichen An»lagen es gelang, binnen fünf Jahren sich mit dieser Kraft und allem, »was damit zusammenhängt, so genau bekannt zu machen, daß die von »ihm erlangten Resultate sehr befriedigend genannt werden dürfen. Be»reits im Mai 1836, bei Gelegenheit des Jahresfestes der Senken»bergischen naturforschenden Gesellschaft wurde ein kleines von ihm »verfertigtes Modell einer elektromagnetischen Kraftmaschine vorgezeigt. — »— — — — — — Herr Wagner hat nunmehr die erste Schwierigkeit »überwunden, nämlich die rasche Wirkungsabnahme der damals bekannten »Elektromotoren zu beseitigen, indem es ihm gelang, Elektromotoren her»zustellen, deren Wirkung für eine beliebige, dem Erfordernisse entspre»chende Zeit gleich blieb. Von da erst begann Herr Wagner an die »Möglichkeit der Anwendung des Elektromagnetismus als bewegende Kraft »zu glauben, und beschäftigte sich nun mit Anfertigung kleiner elektro»magnetischer Rotations-Apparate nach verschiedenen Principien. — — »— — Der Zufall hat Herrn Wagner auf ein Meßinstrument ge»leitet, mit dessen Hülfe es ihm möglich geworden ist, die Gesetze beider

»Kräfte (der Stromstärke und des von ihr erregten Magnetismus, M.) direct »zu studiren und dann die mechanischen Combinationen diesem entspre»chend anzuordnen.

»Die unter Berücksichtigung dieser Gesetze von Herrn Wagner er»sonnene mechanische Construction gewährt den Vortheil, daß die Kraft »elektromagnetischer Maschinen nicht arithmetisch, sondern quadratisch »wächst, d. h. eine in den betreffenden Theilen zehnmal größere Maschine »giebt nicht eine zehnmal, sondern eine hundertfach größere Kraft, ohne »daß dazu eine größere Elektricitätsmenge nöthig wäre; der Zinkverbrauch »bleibt vielmehr derselbe. Wird ferner der Elektromotor vergrößert, was »allerdings zur Entwickelung bedeutender Kraft erforderlich ist, so steht die »dadurch mehr erlangte Kraft in directem Verhältnisse zum Zinkverbrauch. »Daß diese Erscheinungen nicht bei jedem mechanischen Systeme zur An»wendung des Elektromagnetismus sich darlegen werden, bedarf kaum »der Erwähnung.

»Allein so weit vorgerückt, waren noch mehrere der Anwendung im »Großen entgegenstehende Hindernisse zu beseitigen. Dazu gehörte zu»nächst der von Faraday entdeckte magnet-elektrische Funke, welcher, bei »jedesmaliger Trennung der galvanischen Kette entstehend, nicht zu ver»meiden ist. — — — Bei Anwendung mächtiger Elektromotoren, wie »das praktische Leben sie verlangt, würde aus diesen Funken ein so hefti»ges Feuer entstehen, daß selbst Platin der Verbrennung nicht widerstehen »dürfte. Nach vielen vergeblichen Bemühungen und angestrengten Ver»suchen hat in neuester Zeit Herr Wagner auch dieses Hinderniß be»siegt und ein für jede Vergrößerung ausreichendes Schutzmittel gefun»den. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Die von mir in Augenschein genommenen Apparate — — — sind »folgende:

»1) Eine für beliebige, dem Bedürfniß entsprechende Zeit constante »Batterie mit nicht größerer Zinkconsumtion als zu disponibler Elektrici»tät erforderlich ist. — — — Das bei Benutzung der Batterie entste»hende Product (schwefelsaures Zinkoxyd) wird in so concentrirtem Zustande »gewonnen, daß bei Abkühlung Krystalle anschießen. Die Industrie wird »demnächst schon einen Verbrauch dafür finden, wie denn vielleicht das »so billige unreine kohlensaure Ammoniak zur Erzeugung von kohlensau»rem Zink wird benutzt werden können.

»2) Ein kleiner Wagen, welcher bei 36 bis 40 Pfund eigenem Ge»wicht, einen andern Wagen, mit 60 Pfund belastet, auf einer runden »Holzplatte von 7 Fuß Durchmesser im Kreise umherführt, und zwar mit »unveränderter Schnelligkeit $2\frac{1}{2}$ bis 3 Stunden hindurch. — — Diese

»Locomotive mag ungefähr eine Geschwindigkeit einer deutschen Meile »in der Stunde haben (daß ist höchstens eine mechanische Arbeit von 6 »Fußpfund pr. Secunde, also gleich der von $^1/_{84}$ Pferdekraft. M).

» 3) Eine größere Maschine, bei welcher das rotirende System auch »nur 9 Zoll Durchmesser hat. — — Die Leistung dieser Maschine ist im »Verhältniß ihrer Größe sehr befriedigend; sie hat etwa eine Menschen»kraft und wird zur Bewegung einer Metalldrehbank benutzt.

» 4) Ein kleines Modell mit Zählerapparat. — — —

— — — — — — — — — — — — —

» 5) Ein Meßapparat für directe Ermittelung der elektromagnetischen »Kraft. — — — Dieser Apparat weist auch den Laien die Art der Ver»mehrung der Kraft lediglich durch Vergrößerung eines Theils der Maschine »auf das überzeugendste nach.

— — — — — — — — — — — — —

»Fragen wir nun, welche Vorzüge würde die Anwendung des Elektro»magnetismus als bewegende Kraft vor der augenblicklich wichtigsten die»ser Kräfte, dem Wasserdampfe gewähren, und welche Vortheile sind schon »durch die bisherigen Entdeckungen im Gebiete des Elektromagnetismus »für die Praxis gewonnen?

» 1) Der Elektromagnetismus hat den Vorzug gänzlicher Gefahrlosig»keit, indem der Elektromotor, z. B. des Herrn W., namentlich kein Zink»wasserstoffgas entwickelt.

» 2) Da überall keine Gase erzeugt werden, so ist er der Gesundheit »durchaus unnachtheilig.

» 3) Die Anschaffung des Apparates, der Maschine und auch deren »Betrieb ist ungleich weniger kostbar als bei der Dampfkraft, vor welcher »der Elektromagnetismus

» 4) auch noch den Vorzug hat, daß im Zustande der Ruhe die Ma»schine gar nichts consumirt, und daß

» 5) die Zinkconsumtion um so geringer ist, je größer die Geschwindig»keit wird.

» 6) Die Maschine erleidet außer in den Zapfenlagern fast gar keine Ab»nutzung und nimmt verhältnißmäßig wenig Raum ein.

» 7) Die Flüssigkeit, worin die Kupferplatte sich befindet, bedarf keiner »Erneuerung, nur die Flüssigkeit, worin die Zinkplatte sich befindet, er»fordert allmäligen Ersatz, um das schwefelsaure Zinkoxyd daraus krystalli»siren zu lassen.

» 8) Die Maschine bedarf fast keiner Beaufsichtigung.

» 9) Im Princip des Elektromagnetismus ist jeder Grad von Geschwin»digkeit zulässig.

»10) Der Elektromagnetismus gewährt die Thunlichkeit einer elasti»schen und gleichmäßigen Bewegung, sowie

»11) die Möglichkeit des raschesten Anhaltes ohne Stoß (wie verträgt »sich das mit dem Gesetz der Trägheit? M.) Endlich ist

»12) einer der wichtigsten Vorzüge des Elektromagnetismus als bewe»gende Kraft, seine bereits praktisch nachgewiesene Anwendbarkeit zu den »kleinsten Krafterfordernissen, und auf der andern Seite die schon jetzt »als sehr wahrscheinlich sich herausstellende Möglichkeit, demselben die »größten Kraftäußerungen abzugewinnen. — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Wie weit der Elektromagnetismus zum Nachtheile des Wasserdampfes »sein Reich ausdehnen wird, darüber können bis jetzt nur Vermuthungen »geäußert werden; daß es noch ferner geschehen werde, unterliegt kei»nem Zweifel, und der Amerikaner Silliman hat schon vor Jahren »sehr mit Recht den Elektromagnetismus a new power of great but »unknown energy genannt«

Wagner selbst sprach sich in einem Vortrage, den er vor einer Versammlung von Gewerbtreibenden zu Frankfurt a. M. gehalten hat, (Frankfurter Gewerbfreund, 1841 Nr. 23, Dingler's polyt. Journal, 80. Bd. S. 372.) fast ganz in derselben Weise aus. Unter den Vorzügen der neuen Kraft führt er auch den an, daß bei Anwendung derselben für Locomotiven dieselben leichter gebaut werden können. — Dabei hat er schwerlich daran gedacht, daß bei den verschiedenen Functionen, welche eine Locomotive zu verrichten hat, ihr Gewicht keine geringere Rolle spielt, als die Kraft ihrer Maschine. Nähere Details über seine Erfindungen hat Wagner nirgends publicirt, was in mancher Beziehung sehr zu bedauern ist, denn wenn sich auch bis jetzt noch keiner der gehofften Vortheile für die Industrie realisirte, so wären seiner Zeit doch manche Einzelheiten für die Wissenschaft von großem Interesse gewesen; Wagner selbst würde ohne diese Abschließung, durch den Verkehr mit sachkundigen Männern, namentlich mit Mechanikern gewiß einen klaren Blick über die Lage seiner Angelegenheit gewonnen haben, er würde sicher zu irgend einer Entscheidung gekommen seyn.

Die einzige bestimmte Nachricht von einer elektromagnetischen Locomotive, welche auf einer Eisenbahn gelaufen ist, fand ich, aus englischen Journalen entnommen, im 86. Bande von Dingler's polytechnischem Journal, Seite 407. Sie ist von Davidson construirt und lief auf der Edinburg-Glasgower Eisenbahn.

Der Wagen von 16 Fuß Länge und 7 Fuß Breite, wird von 8 kräftigen Elektromagneten getrieben, und lief mit einer Geschwindigkeit von 4 englischen Meilen in der Stunde.

Das ist nun freilich keine große Geschwindigkeit, und man muß anerkennen, daß dies Resultat ein sehr ungenügendes ist, wenn man bedenkt, daß diese Locomotive ganz allein lief und nicht einmal andere Wagen hinter sich herzuziehen hatte.

Kosten der elektromagnetischen Triebkraft. Die Möglichkeit, 208
selbst größere Maschinen durch Elektromagnetismus zu treiben, ist durch viele Versuche, namentlich durch die Jakobi's außer Zweifel gesetzt worden, dadurch ist aber für die praktische Anwendbarkeit dieser neuen Kraft in der Industrie noch nichts entschieden, denn von dieser könnte erst dann die Rede seyn, wenn erwiesen wäre, daß der Elektromagnetismus, unter gewissen Umständen wenigstens, wohlfeiler wäre als andere bewegende Kräfte.

Nur die Möglichkeit des Maschinenbetriebes durch Elektromagnetismus wollte Jakobi bei seinen Versuchen auf dem Boote darthun, der Kostenpunkt war bei denselben, wie er selbst sagt, ganz unberücksichtigt geblieben und alle vorhandenen Data sind nach dieser Seite hin viel zu unvollständig, um einen auch nur einigermaßen sichern Schluß zu erlauben.

Wagner hat über die Kosten seines Maschinenbetriebes gar keine Anhaltspunkte mitgetheilt, denn wenn er behauptet, der Elektromagnetismus sey billiger als Dampfkraft, so liegt dieser Behauptung wohl die Voraussetzung zu Grunde, daß der producirte Zinkvitriol die Kosten fast ganz decke, was übrigens mehr als zweifelhaft ist.

So fehlt es uns denn nach dieser Seite hin sehr an genügendem Material.

Auf Versuche Botto's sich stützend (es müssen spätere gewesen seyn, als die oben Seite 540 angeführten, denn sie wurden mit einer constanten Zinkplatinkette angestellt) berechnet Grove (aus dem Civil Engeneer and Architects Journal, März 1844, S. 94 in Dingler's polyt. Journal, 92. Bd. S. 136.) die Kosten der elektromagnetischen Triebkraft in folgender Weise. Um die Wirkung einer Pferdekraft für die Dauer von 24 Stunden hervorzubringen, ist die Consumtion von 45 Pfund Zink in einer constanten Zinkplatinbatterie erforderlich Rechnet man den Preis des metallischen Zinks zu 3 Pence so käme diese Kraft auf 11 Schilling 3 Pence zu stehen; dazu kommt aber noch der Verbrauch von 50½ Pfund Salpetersäure, welche zu 6 Pence pr. Pfd. 1 Pfd. Sterl. 5 Schill. 3 Pence kostet. Die ganze Auslage folglich, um den Effect einer einzigen Pferdekraft durch einen elektrischen Kraftapparat 24 Stunden lang zu erhalten, würde 1 Pfd. Sterl. 16 Schill. 6 Pence betragen.

Bei dieser Berechnung ist vorausgesetzt, daß die Kosten für die erfor-

derliche Schwefelsäure durch den Werth der erzeugten Zinksalze vollständig gedeckt werden.

Dieselbe Kraft kommt durch eine Dampfmaschine nur auf wenige Schillinge zu stehen. Zwischen diesen Resultaten und Callin's Erwartungen ist freilich ein großer Abstand.

Die Kostspieligkeit der elektromagnetischen Triebkraft, sagt Grove, entspringt daraus, daß die Materialien für ihre Erzeugung, Zink, Salpetersäure und Schwefelsäure theure Fabrikate sind, Steinkohlen und Wasser aber, die Elemente der Dampfkraft, nur Naturproducte.

Auf den ersten Blick könnte man meinen, daß die Anwendung von Batterien, in welchen die theure Salpetersäure nicht angewendet wird, pecuniär vortheilhafter sey. Das ist jedoch keineswegs der Fall. Bei allen andern Batterien ist die elektromotorische Kraft der Elemente geringer; man muß also, um gleiche Stromstärke zu erhalten, eine weit größere Anzahl Plattenpaare anwenden, man hat also den gleichen Zinkverbrauch in einer größeren Anzahl von Zellen; was auf der einen Seite an Salpetersäure gespart wird, geht an Zink wieder verloren.

Ich habe mich nach weiteren Versuchen umgesehen, aus welchen man etwa die Kosten des elektromagnetischen Maschinenbetriebes wenigstens annähernd berechnen könnte, habe aber nichts gefunden als einige Versuche von Scoresby und Joule im Philosophical Magazine (vol. XXVIII. Seite 448.).

Von den Versuchen der beiden Engländer wird weiter unten noch mehr die Rede seyn, hier will ich nur einen Versuch anführen: bei einer Zinkconsumtion von 205 Gran pr. Stunde wurde mittelst einer elektromagnetischen Maschine ein mechanischer Effect von 21100 Fußpfund in der Stunde, das ist 5,8 Fußpfund in der Secunde, also ungefähr $1/88$ Pferdekraft, hervorgebracht, demnach würde eine ganze Pferdekraft in 24 Stunden allein 56 Pfund Zink verzehren, also noch etwas theurer zu stehen kommen als nach obiger Berechnung Grove's.

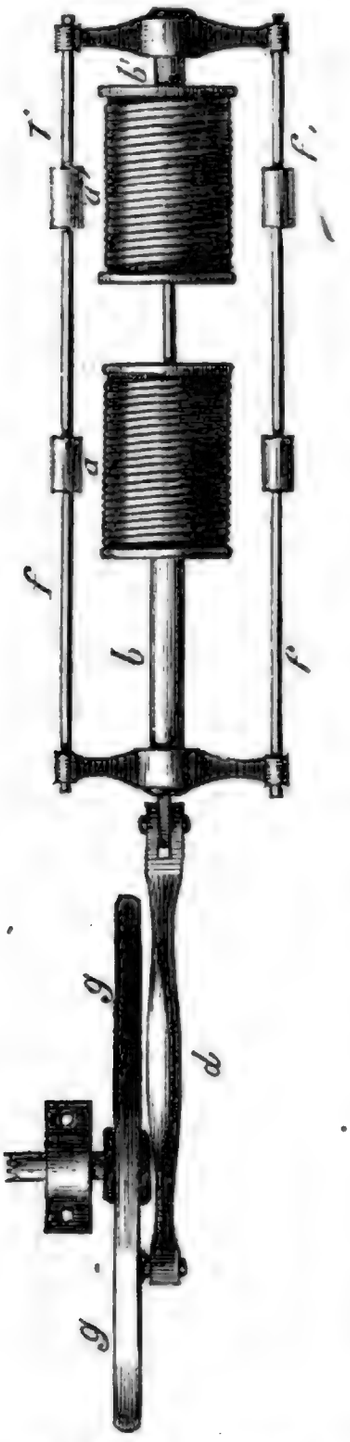
Stöhrer hat einige Versuche bekannt gemacht (P. A. LXIX. 87.) die er mit seiner elektromagnetischen Kraftmaschine angestellt hat, allein er giebt nur in Fußpfunden den mechanischen Effect an, welcher erhalten wurde, wenn der Strom von 1, 2, 3, 4 und 5 seiner Zinkkohlenbecher durch den Apparat geleitet wurde, ohne den Zinkverbrauch anzugeben oder Data mitzutheilen, aus denen man ihn etwa hätte berechnen können; zur Berechnung des Kostenpunktes sind also seine Angaben nicht zu gebrauchen.

209 **Construction der elektromagnetischen Kraftmaschine.** Man hat elektromagnetische Motoren in sehr verschiedenen Formen construirt, doch lassen sich der Hauptsache nach zwei Classen unterscheiden. In die erste

Classe gehören alle diejenigen Apparate, bei denen ursprünglich eine oscillatorische Bewegung hervorgebracht wird, die erst in eine continuirlich drehende verwandelt werden muß; die zweite Classe bilden alle diejenigen Apparate, in denen durch die elektromagnetischen Kräfte unmittelbar eine Rotationsbewegung hervorgebracht wird.

Betrachten wir zunächst die Maschinen der ersten Classe, welche die weniger verbreiteten sind.

Fig. 184.



Dal Negro's Apparat, welcher hierher gehört, wurde bereits auf Seite 539 besprochen. Page, Professor der Chemie am Columbia-Collegium zu Washington, construirte einen hierher gehörigen Apparat, der in Silliman's Journal beschrieben ist (Dingler's polyt. Journal, 102 Bd. S. 112.), das Wesentliche desselben wird durch Fig. 184 verständlich werden.

Auf einem Brett sind in horizontaler Lage zwei Magnetisirungsspiralen a und a' in horizontaler Lage so befestigt, daß ihre Axen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Die beiden Eisenstäbe b und b', durch ein Messingstäbchen mit einander verbunden, sind an dem beweglichen Rahmen $f\,f'$ befestigt, welcher ihnen zur Führung dient. Geht ein Strom durch a', so wird b' nach der Linken gezogen; so bald der Stab b' ganz in a' hineingeschoben ist, wird der Strom in a' unterbrochen, während er durch a zu laufen beginnt. b wird jetzt in die Spirale a hineingezogen, während a' nicht mehr auf b' wirkt; ist die Bewegung nach der rechten Seite hin vollendet, so tritt abermals ein Stromwechsel ein, und so wird eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt, welche durch die Treibstange d dem Schwungrad g eine rotirende Bewegung mittheilt.

Die Vorrichtung zum Stromwechsel ist an der Schwungradswelle angebracht. Diese so wie die Drahtleitungen sind in der Zeichnung weggelassen, da es nur darauf ankam, eine Idee von dem Apparate zu geben.

Werden die Eisenstäbe *b* und *b'* durch Magnetstäbe ersetzt und der Apparat durch die Hand mittelst einer Kurbel umgedreht, so werden in *a* und *a'* Inductionsströme erzeugt, der Apparat kann also in diesem Falle als magnetoelektrische Maschine benutzt werden.

In dem London Journal of arts, November 1839 (Dingler's polyt. Journal, 75 Bd. S. 88.) beschreibt Callet eine elektromagnetische Kraftmaschine, welcher er die Form einer Dampfmaschine zu geben suchte. Von den beiden Enden eines Balanciers, welcher dem Balancier einer gewöhnlichen Niederdruckmaschine ganz gleich geformt ist, hängen Pleuelstangen herab, welche unten genau abgedrehte Cylinder von Eisen tragen, von denen abwechselnd der auf der rechten Seite und dann wieder der auf der linken Seite in einen hohlen Elektromagneten niedergezogen wird. Der Strom geht also einmal durch den Draht des einen eisernen hohlen Cylinders, wodurch der eine Eisenstab niedergezogen wird. Ist dieser in seiner tiefsten Stellung angekommen, so wird der Strom hier unterbrochen, er umläuft nun den anderen Hohlcylinder, so daß jetzt der andere Arm des Balanciers niedergezogen wird u. s. w., die alternirende Bewegung des Balanciers wird mittelst einer in der Mitte des einen Balancierarmes befestigten Treibstange und einer Kurbel in eine rotirende Bewegung verwandelt.

Hjorth hat das alternirende Auf- und Niedergehen von Elektromagneten, welche in die Höhlung anderer hineingezogen werden, wenn diese durch den Strom magnetisirt sind, benutzt, um einen Apparat zu construiren, der ganz die Form einer oscillirenden Dampfmaschine hat (Dingler's polyt. Journal, Bd. 113, S. 425.); der Commutator wird durch eine excentrische Scheibe geführt, wie der Schieber einer Dampfmaschine.

Eine nähere Beschreibung dieser beiden letzteren, die Dampfmaschine nachahmenden Formen, dürfte hier um so eher wegbleiben, als in den citirten Aufsätzen über die Wirksamkeit dieser Maschinen gar nichts gesagt ist, ja es ist aus denselben nicht einmal zu entnehmen, ob solche Apparate wirklich ausgeführt sind, oder ob ein bloßes Project mitgetheilt wird.

Bei der zweiten Classe, den unmittelbar rotirenden elektromagnetischen Motoren, können wir uns noch kürzer fassen, weil sie weiter verbreitet und der Hauptsache nach als bekannt vorausgesetzt werden können. Bei ihnen wirken entweder nur die Pole aufeinander, wie dies bei Ritchie's rotirendem Elektromagnet und bei Jakobi's Apparat der Fall ist, oder es wirken die elektromagnetischen Stäbe ihrer ganzen Länge nach auf einander, wie bei dem Apparate Fig. 183 und bei dem von Vorßelman vorgeschlagenen.

Man hat solcher rotirenden elektromagnetischen Kraftmaschinen in gar mannichfachen Modificationen construirt, die oft ganz sinnreich und zweckmäßig sind, die nähere Besprechung derselben gehört aber nicht hier her.

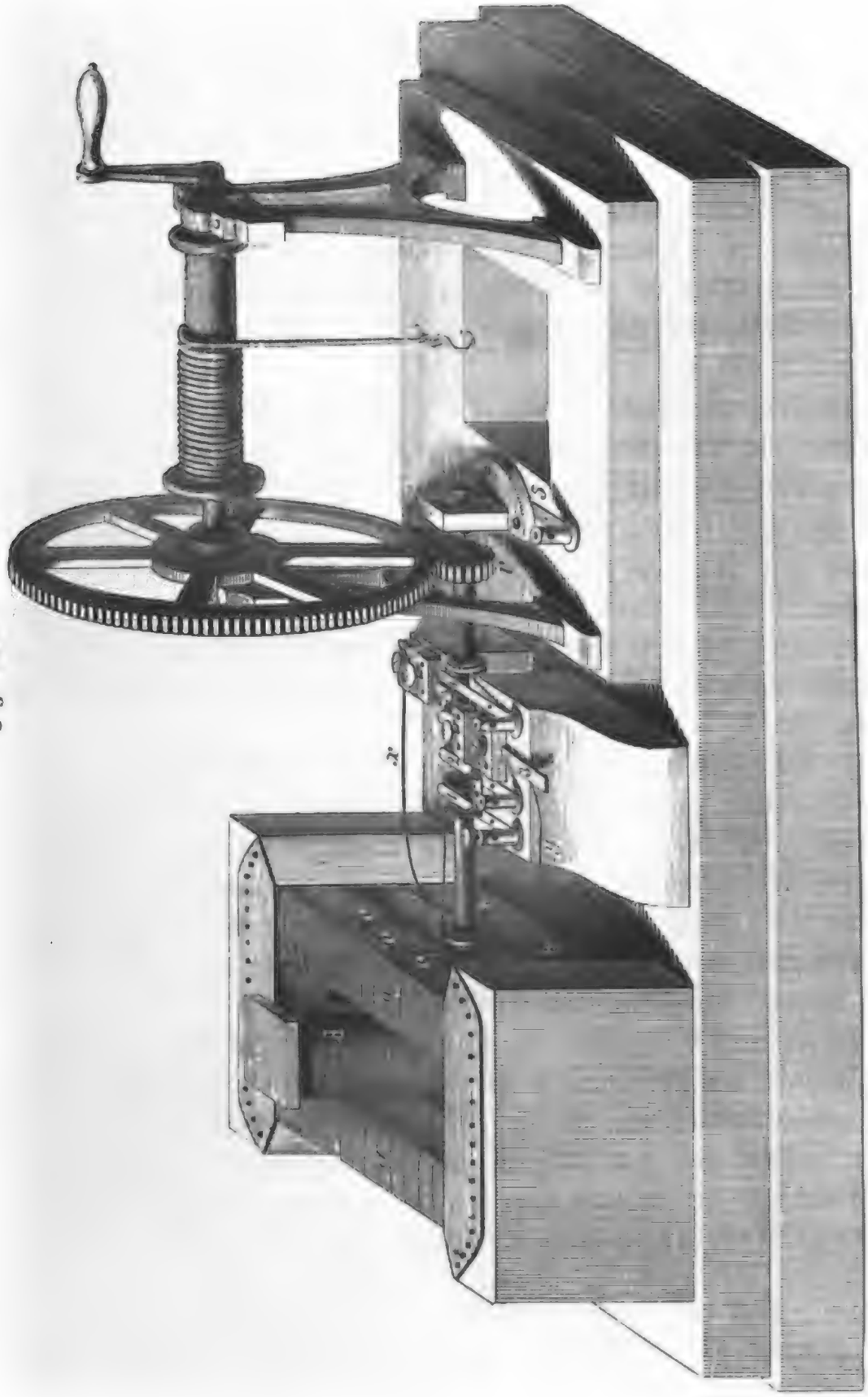


Fig. 184

Alle diese Maschinen verlieren einen Theil ihrer Wirksamkeit dadurch, daß bei rascher Rotation die Polarität in den Eisenstäben nicht so schnell umgekehrt werden kann, wie die Stromrichtung in den Magnetisirungsspiralen. Eine Folge davon ist, daß die Eisenstäbe nie den vollen Magnetismus erlangen, welcher der Stromstärke entspricht. Diesen Uebelstand hat Stöhrer in dem Apparat Fig. 185 vermieden. Der rotirende Elektromagnet *d* rotirt ohne Polwechsel in Folge der nach jeder halben Umdrehung stattfindenden Umkehrung des Stroms in den durch horizontale Drahtwindungen gebildeten Rahmen *a a* und *b b*, der Elektromagnet hat hier gegen die Windungen des Rahmens eine ähnliche Stellung wie die Magnetnadel gegen die Windungen des Multiplicatordrahtes. — Eine nähere Beschreibung des Apparates findet man in der 3. Auflage meiner Physik 2. Bd. S. 214.

Vergleichende Versuche über die Wirkung verschiedener Formen elektromagnetischer Motoren fehlten bis jetzt ganz und gar.

210 **Theorie der elektromagnetischen Motoren.** In diesem Felde ist bis jetzt noch sehr wenig gethan worden. Die Untersuchungen, welche Lenz und Jakobi über die Gesetze des Elektromagnetismus anstellten, sollten Vorarbeiten zur Entwickelung einer Theorie elektromagnetischer Motoren seyn. Jene Gesetze aber, auf statische Verhältnisse sich beziehend, konnten natürlich bei dem Bewegungszustand nur eine bedingte Anwendung finden.

In einem Vortrag, welchen Jakobi in der Versammlung brittischer Naturforscher zu Glasgow im Jahr 1840 gehalten hat (Athenaeum Nr. 678, P. A. LI. 358), theilt er folgende Skizze einer Theorie elektromagnetischer Motoren mit. Bezeichnet R die sämmtlichen mechanischen Widerstände, welche auf die Maschine einwirken, und v die gleichförmige Geschwindigkeit, mit welcher sie sich bewegt, so haben wir für die Kraft oder den mechanischen Effect den Ausdruck $T = Rv$.

Es sey nun n die Zahl der Windungen der Magnetisirungsspirale, z die Anzahl der Plattenpaare der Batterie, B der gesammte Widerstand der galvanischen Kette, E die elektromotorische Kraft und K ein Coefficient, welcher von dem Abstand der Pole und der Beschaffenheit des Eisens abhängt, so hat man, sagt Jakobi, für das Maximum des mechanischen Effects [1]), welches erreicht wird,

$$T = \frac{z^2 E^2}{4BK} \quad \ldots \quad 1)$$

[1]) Das heißt wenn die disponibeln galvanischen Becher so geordnet sind, daß man ein Maximum von Stromstärke erhält, daß also der Widerstand der Kette gleich dem des Schließungsbogens ist.

für die Geschwindigkeit, welche diesem Maximum entspricht,

$$v = \frac{B}{K n^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

für den Widerstand, der auf die Maschine einwirkt,

$$R = \frac{n^2 z^2 E^2}{4 B^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

und endlich für den ökonomischen Effect, d. h. für den Nutzeffect, dividirt durch den Zeitverbrauch

$$O = \frac{E}{2K}.$$

Wie diese Formeln entwickelt worden sind, ist nicht angegeben; ebenso wenig theilt Jakobi mit, ob und in wie weit sie mit den Erfahrungsresultaten übereinstimmen.

In einem Vortrage, den Jakobi in der Petersburger Akademie gehalten hat (Dingler's polyt. Journal, 85. Bd. S. 439), sagt er selbst von diesen Formeln: »Ich habe diese Gesetze in ihren Details noch nicht einer »strengen experimentellen Prüfung unterwerfen können, aber Alles ist vor»bereitet, um die erste Muße, die mir vergönnt ist, zu dieser umfassenden »Arbeit zu benutzen. Die Bestätigung dieser Gesetze hat sich mir bis jetzt »nur im Allgemeinen und Großen ergeben, indem ich durch sie im Stande »war, eine Masse von Erscheinungen zu erklären die sich mir dargeboten »und wozu bisher der Schlüssel gefehlt hatte. Jetzt aber wird es noth»wendig, die Constanten zu bestimmen, und namentlich die mechanische »Arbeit zu ermitteln, welche die elektrolytische Auflösung einer gegebenen »Quantität Zink zu produciren vermag. Indessen mache ich Sie noch »auf ein merkwürdiges Factum aufmerksam, das auch diese Bestimmung »nicht als absolute erscheinen läßt, — ein Factum, das namentlich unsere »Herrn Collegen von der Chemie in Verwunderung setzen wird, indem es »sich dahin ausspricht, daß dasselbe Atom Zink eine verschiedene mechani»sche Arbeit zu produciren vermag, je nachdem es in einer Zinkkupfer»oder in einer Zinkplatinbatterie aufgelöst wird. In letzterem Falle ist »z. B. diese Arbeit beinahe $1\frac{3}{4}$mal größer als im ersteren.«

Später hat Jakobi meines Wissens Nichts mehr über diesen Gegenstand veröffentlicht.

Es sey mir erlaubt, über die Art und Weise, wie Jakobi mittelst jener Formeln eine Theorie der elektromagnetischen Kraftmaschinen zu entwerfen versucht hat, noch einige Worte beizufügen. Sie gelten nur für den Fall, wie er ausdrücklich gesagt hat, daß bei gegebener Drahtmasse die disponibeln Becher so geordnet sind, daß ein Maximum von Stromstärke erhalten wird, was, wie Lenz und Jakobi früher bewiesen haben, dann der Fall ist, wenn der Widerstand der Batterie dem Widerstand des Schlie-

ßungsbogens gleich ist. — Dadurch nun, daß sich die Formeln nur auf einen so speciellen Fall beziehen, scheint mir nun ihre Anwendbarkeit zu sehr beschränkt zu seyn.

Jakobi's Formeln geben einen Zusammenhang zwischen dem mechanischen Effect, der Becherzahl, der elektromotorischen Kraft und dem Leitungswiderstand der Säule. Hier scheint es nun, als ob man eher hoffen dürfte eine genügende Lösung zu erhalten, wenn man die von Jakobi behandelte Frage in zwei spaltet, wenn man zuerst ermittelt, welche Beziehung findet statt zwischen Stromstärke, Rotationsgeschwindigkeit und mechanischer Wirkung. Ist einmal diese Frage beantwortet, so ist es nachher leicht zu ermitteln, mit welcher Einrichtung der Batterie man eine gewünschte Stromstärke am zweckmäßigsten erhält.

Durch die Trennung dieser Fragen gewinnt man jedenfalls eine klarere Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen; die allgemeinen Stromverhältnisse erscheinen nicht verwickelt mit den specifischen Verhältnissen elektromagnetischer Motoren, wie dies in der letzten Behauptung Jakobi's der Fall ist.

Die Verschiedenheit im Verhältniß zwischen Zinkconsumtion und Effect, je nachdem man eine Grove'sche oder eine Daniell'sche Batterie anwendet, tritt nicht allein bei elektromagnetischen Motoren auf, sondern sie ist allen Stromwirkungen gemeinschaftlich; die Behauptung, welche Jakobi von dem mechanischen Effecten aufstellt, gilt ganz allgemein von der Stromstärke und von allen Wirkungen, welche der Strom hervorbringt.

Durch einen beliebigen Schließungsbogen gehe der Strom einer Säule von n Grove'schen Bechern, deren Anzahl so gewählt ist, daß der Widerstand der Batterie gleich ist dem des Schließungsbogens, für welchen Fall, wie Lenz und Jakobi zuerst gezeigt haben, die Stromstärke größer ist als für jede andere Combination derselben Becherzahl.

Nun soll dieselbe Wirkung mit einer Daniell'schen Batterie hervorgebracht werden. —Soll die Säule dieselbe elektromotorische Kraft haben wie im vorigen Falle, so muß man eine Säule von $^7/_4\ n$ Daniell'schen Bechern anwenden, weil die elektromotorische Kraft jedes einzelnen nur $^4/_7$ von dem eines Grove'schen Bechers ist. Sind nun außerdem die Daniell'schen Becher so groß gemacht, daß der Widerstand der ganzen Säule jetzt gerade so groß ist als der Widerstand obiger Grove'schen Säule, so muß nothwendig die Stromstärke in beiden Fällen ganz gleich seyn, da ja bei gleichem Schließungsbogen auch die elektromotorischen Kräfte und die Widerstände der Säulen gleich sind.

Ist ein Voltameter in den Schließungsbogen eingeschaltet, so wird man also mit beiden Säulen gleiche Wasserzersetzung erhalten; gleiche Glüher-

ſcheinung, wenn ſich ein dünner Draht im Schließungsbogen befindet, gleichen mechaniſchen Effect, wenn der Strom die Spiralwindungen eines elektromagnetiſchen Motors durchläuft. Während in allen dieſen Fällen die gleiche Wirkung im Schließungsbogen erzielt wird, durchläuft derſelbe Strom einmal n, das andere mal $^7/_4 n$ Zellen, im letzteren Falle wird alſo bei gleichem Effect im Schließungsbogen die Zinkconſumtion $^7/_4$mal ſo groß ſeyn als im erſten.

Daraus ergiebt ſich wieder auf eine ganz anſchauliche Weiſe, daß von einem elektrothermiſchen Aequivalent des in der Säule galvaniſch verzehrten Zinkes keine Rede ſeyn kann, wie dies bereits in etwas anderer Form auf Seite 382 geſagt worden iſt.

Theorie der elektromagnetiſchen Motoren von Joule und Scoresby. Außer den erſten Verſuchen Jakobi's, eine Theorie der elektromagnetiſchen Kraftapparate zu entwickeln, iſt dieſer Gegenſtand nur noch von Joule und Scoresby behandelt worden, welche ihre theoretiſchen Betrachtungen und Verſuche in einem kleinen Aufſatz beſchrieben haben, der ſich im 28. Bande des Philosophical Magazine (Seite 484) findet. Joule hat ſchon früher Einiges über den Zuſammenhang zwiſchen den thermiſchen und mechaniſchen Wirkungen des Stromes und die zu ſeinen Unterhalte nöthige Conſumtion in der Batterie bekannt gemacht (Phil. Mag. vol. XVIII und XIX). Leider ſind mir die früheren Bände des Philosophical Magazine nicht zugänglich, und ich muß mich deshalb darauf beſchränken, über den gemeinſchaftlichen Aufſatz von Joule und Scoresby zu berichten. 211

Der Grundgedanke, welchen die beiden Naturforſcher in demſelben durchzuführen verſuchen, iſt, wenn ich recht verſtanden habe, kurz folgender: Wenn ein elektromagnetiſcher Motor in Ruhe gehalten wird, während ein Strom ſeine Drahtwindungen durchläuft, ſo wird eine der Stromſtärke entſprechende Wärmemenge in den Drähten entwickelt werden. Läßt man nun die Maſchine laufen, ſo nimmt die Stromſtärke ab, ein Theil der vorher entwickelten Wärme erſcheint alſo jetzt in mechaniſchen Effect verwandelt.

Die wichtigſte Stelle des beſprochenen Aufſatzes will ich hier wörtlich anführen, ſie heißt:

»Er (nämlich Joule) hat gezeigt, daß wenn alle Wärme, welche durch »die Conſumtion von 1 Gran Zink in einer Daniell'ſchen Batterie ent»wickelt wird, in nutzbare mechaniſche Kraft verwandelt werden könnte, ſie »der Hebung einer Laſt von 158 Pfd. auf die Höhe von 1 Fuß gleich »wäre. Bezeichnen wir die Stromſtärke, wenn die Maſchine in Ruhe »gehalten wird, mit a, wenn die Maſchine im Lauf iſt aber mit b, ſo ver-

»halten sich die Wärmemengen, welche für beide Fälle in einer gegebenen »Zeit entwickelt werden, wie a^2 zu b^2. Weil sich aber die Quantitäten »von Zink, welche verzehrt werden, wie a zu b verhalten, so verhalten sich »auch die in beiden Fällen durch gleiche Zinkmengen erzeugten Wärme»quantitäten wie a zu b oder direct wie die Stromstärken; $a - b$ stellt »die in mechanischer Wirkung verwandelte Wärmemenge dar. Bezeichnet »man nun mit x den in Fußpfunden ausgedrückten mechanischen Effect, »welcher durch die Consumtion von 1 Gran Zink hervorgebracht werden »kann, so haben wir

$$x = 158 \frac{a - b}{a}$$

»Nach der obigen Auseinandersetzung ist es klar, daß die ökonomische »Leistung ein Maximum wird, wenn b verschwindet, oder wenn es wenig»stens sehr klein im Vergleich gegen a ist. In diesem Fall wird $x = 158$, »während die Kraft der Maschine unendlich klein wird, wenn man die »in einer Zeit hervorgebrachte mechanische Wirkung ins Auge faßt.«

Joule und Scoresby haben es auch versucht, ihre Formel durch das Experiment zu bestätigen. In der folgenden Tabelle habe ich die Resultate der 6 Versuche zusammengestellt, welche sie in dieser Beziehung gemacht haben.

	Stromstärke wenn die Maschine		Mechanischer Effect in Fußpfunden pr. Stunde.	Zinkconsumtion in 1 Stunde.
	in Ruhe a	in Bewegung b		
1	2232	920	21100	205 Gran
2	2232	850	17820	190 »
3	1381	850	8800	190 »
4	1381	678	9000	151 »
5	2081	1300	10030	291 »
6	2035	1000	12672	223 »

Dividirt man den Zinkverbrauch in den entsprechenden mechanischen Effect, so ergiebt sich der mechanische Effect für 1 Gran Zink; dieser läßt sich aber auch aus der oben entwickelten Theorie ableiten, wenn man in die Gleichung $x = 158 \frac{a - b}{a}$ für a und b die corespondirenden Wer-

the aus obiger Tabelle substituirt. Stellt man die beobachteten und die berechneten Werthe von x zusammen, so ergiebt sich folgende Tabelle.

beobachtet	berechnet	
93	103	0,903
98	94	1,04
60,7	46,3	1,31
80,4	59,6	1,51
59,3	34,5	1,71
80,3	56,8	1,40

Die letzte Columne dieser Tabelle enthält das Verhältniß der berechneten Werthe von x zu den beobachteten, die Zahlen dieser Columne sind also dadurch erhalten, daß man die der ersten durch die der zweiten dividirt.

Man sieht nun, daß die beobachteten und die berechneten Werthe von x sehr stark von einander abweichen, und daß auch das Verhältniß zwischen beiden sehr veränderlich ist, indem es zwischen 0,9 und 1,7 schwankt.

Diese Vergleichung spricht nicht sehr zu Gunsten der Theorie, deren Entwickelung gleichfalls noch viel zu wünschen übrig läßt. Die Art und Weise, wie die beiden englischen Gelehrten ihre Versuche anstellten, ist aber gewiß die einzige, welche hier zu einem Ziele führen kann, nur wäre zu wünschen, daß der mechanische Effect nicht bloß in Fußpfunden ausgedrückt wäre, sondern daß in jedem Fall die Größe der gehobenen Last und die Geschwindigkeit angegeben würde.

Durch diese Auseinandersetzungen glaube ich dargethan zu haben, daß die Theorie der elektromagnetischen Motoren noch in ihrer ersten Kindheit liegt, daß also auf diesem Felde noch sehr viel zu thun übrig bleibt.

Die Reibungselektricität in ihrer Anwendung auf die Telegraphie. 212 Den ersten Versuchen zu einer elektrischen Telegraphie gingen die im Jahre 1746 durch Winkler in Leipzig, 1747 durch Watson in London, so wie durch Le Monnier in Paris angestellten Untersuchungen über die Geschwindigkeit der in Bewegung befindlichen Reibungselektricität unmittelbar vorher.

Der Erste, der hiervon eine Anwendung auf die Telegraphie gemacht hat, scheint Lesage aus Genf gewesen zu sein. Derselbe construirte 1774 einen Telegraphen aus 24 isolirten Metalldrähten, an deren Enden

Paare von Hollunderkügelchen angehängt waren, welche an dem einen Ende divergirten, sobald das andere Ende mit dem Conductor einer in Thätigkeit befindlichen Elektrisir-Maschine verbunden wurde. Durch das Auseinandergehen des einen oder des anderen Paares dieser Kügelchen konnte nach Belieben jeder der 24 Buchstaben signalisirt werden.

Lomond (Young's travels in France, 1787, 4 ed. I. p. 79) hatte ein entfernt stehendes Elektrometer aus Hollunderkügelchen durch einen langen Messingdraht mit dem Conductor einer Elektrisir-Maschine verbunden und konnte mittelst dieses einen Drahtes durch geeignete Gruppirung mehrerer Divergenzen behufs der Bezeichnung der Buchstaben sich eben so gut in die Ferne verständlich machen, als Lesage dieses mit 24 Drähten erreichte.

Reißer (Voigt's Magazin, Bd. 9. S. 1.) machte 1794 den Vorschlag, auf der einen Station 26 Glastäfelchen, jedes mit einem auf die bekannte Weise in Staniolstreifen ausgeschnittenen Buchstaben versehen, aufzustellen, das untere Staniolende eines jeden Buchstabens durch einen besonderen Draht, dagegen alle oberen Staniolenden durch einen siebenundzwanzigsten Draht mit der entfernten Station zu verbinden. Vermittelst der Entladung einer Leydener Flasche durch den einen oder den anderen Draht gedachte er auf der entfernten Station in den Lücken des unterbrochenen Staniolstreifens überspringende Funken zu erzeugen und dadurch den betreffenden Buchstaben in glänzender und leuchtender Gestalt zu signalisiren.

Einen praktischeren Vorschlag machte fast gleichzeitig Böckmann; auch er gedachte einen an der entfernten Unterbrechungsstelle der aus zwei Drähten bestehenden Leitung überspringenden Funken als Signal zu wählen und durch Combination von Funkengruppen die Buchstaben zu repräsentiren.

Dr. Salva (Voigt's Mag., Bd. 11, St. 4) zu Madrid führte 1798 einen ähnlichen Telegraphen in ziemlich großem Modelle aus, und in demselben Jahre zog der Franzose Betankourt (Gauß und Weber, »Resultate des magnet. Ver.« Götting. 1838. S. 14) eine Drahtkette von Aranjuez nach Madrid, vermittelst welcher die Entladung einer elektrischen Batterie zu einer telegraphischen Correspondenz benutzt werden konnte.

Alle diese, sowie die 1797 von Cavallo (dessen Elektr.-Lehre, 1797) und 1816 von Rolands (Description of an electr. telegr., London 1823, auch in Bullet. univ. I. 38) auf die Entladung einer Flasche oder einer Batterie gegründeten Vorschläge zu einer elektrischen Telegraphie sind an den vielen Hindernissen gescheitert, welche die Unbeständigkeit der Elektrisir-Maschine, ihre Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitszustande der

Luft, die Schwierigkeit einer vollständigen Isolirung mehrerer Drähte und die Unsicherheit in der Beobachtung des Funkens mit sich führen.

Der Galvanismus in seiner Anwendung auf die Telegraphie. 213

Mit der Entdeckung des Galvanismus, der Volta'schen Säule und ihrer Wirkungen ging auch die Telegraphie einen Schritt weiter. Im Jahre 1808 construirte Sömmering in München (Denkschr. d. K. Akad. der Wissensch. zu München für 1809) einen Apparat, in welchem er die durch die Volta'sche Säule bewirkte Wasserzersetzung zum Telegraphiren benutzte. Auf derjenigen Station, wohin eine Nachricht gelangen sollte, waren in einem schmalen Wasserbehälter 35 mit Wasser angefüllte und mit Buchstaben oder Ziffern bezeichnete Gläschen umgestülpt; auf der andern Station befanden sich eben so viele und eben so bezeichnete Messingcylinderchen, von denen jedes das eine Ende eines Drahtes trug, der zu der entfernten Station hinlief und dort mit seinem vergoldeten Ende in das entsprechende Gläschen mündete. Wurden nun zwei dieser Cylinder mit den Polen einer Volta'schen Säule verbunden, so zersetzte der entstandene und durch die mit dem Cylinder verbundenen Drähte circulirende galvanische Strom in denjenigen Gläschen, in denen diese Drähte endigten, das Wasser, dessen luftförmige Bestandtheile in Form von Bläschen in die Höhe stiegen und so zwei Zeichen zugleich angaben, deren Reihenfolge dadurch bestimmt war, daß immer der Buchstabe des Wasserstoffgläschens voranging. Die 35 Leitungsdrähte waren so gut als möglich isolirt und in einiger Entfernung von den Apparaten zu einem Strange zusammengewunden.

Wegen der großen Kosten der vielen Drähte und der Unmöglichkeit, dieselben auf längere Zeit und in einer größern Strecke gehörig isolirt zu halten, konnte an eine Anwendung dieses Telegraphen im Großen nicht gedacht werden.

Die Ideen Schweigger's, ebenfalls durch die Wasserzersetzung alle Sömmering'schen Signale vermittelst einer nur aus zwei Drähten bestehenden Leitung darzustellen, indem eine schwächere und eine stärkere Batterie in Anwendung kommen und außerdem noch die Zeit in Betracht gezogen werden sollte, welche theils während einer jeden Gasentwickelung, theils als Pause zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gasentwickelungen verfließt, sind nur im Modelle, die fünf Jahre später von Coxe, Professor zu Philadelphia (Ann. de Philad. par Thompson, 1810) gemachten Vorschläge aber, die Einwirkung der Volta'schen Säule auf das Wasser, auf Salze oder andere chemische Substanzen zum Telegraphiren zu benutzen, gar nicht zur Ausführung gekommen.

Viel später, im Jahre 1839, hat Vorsselman de Heer (Pogg. Ann. Bd. 46. S. 513) eine von dem vorigen ganz abweichende, aber in

ihrem Wesen auf rein galvanischen Principien beruhende und daher schon hier zu beschreibende telegraphische Methode vorgeschlagen und in kleinerem Maaßstabe zur Ausführung gebracht.

Dieser Telegraph beruht auf den physiologischen Wirkungen der galvanischen Ströme und nimmt daher das Gefühl zum Empfangen der Zeichen in Anspruch. Zehn Leitungsdrähte verbinden die durchaus gleichen Apparate der beiden Stationen; dieselben bestehen aus zehn von einander getrennten und mit den Leitungsdrähten verbundenen metallischen Tastenpaaren. Der Beobachter, welcher eine Nachricht empfangen soll, hält seine Finger auf den zehn Tasten und kann nun von der andern Station aus, woselbst zur Erzeugung des Stromes ein Inductions-Apparat aufgestellt ist und durch Niederdrücken je zweier Tasten die Kette geschlossen wird, gleichzeitige Erschütterung erhalten

a) in einem Finger der rechten Hand und einem Finger der linken Hand,

b) in zwei Fingern der rechten Hand, oder

c) in zwei Fingern der linken Hand.

Die Erschütterungen a) geben offenbar in 25 verschiedenen Combinationen eben so viele Zeichen, nämlich die 25 Buchstaben; der Erschütterungen b) giebt es zehn, sie bezeichnen die Ziffern, während in den Signalen c) noch zehn Zeichen für den reglementären Theil des Dienstes, zur Bezeichnung des Wortendes u. dergl. hinzukommen.

Der Mechanismus dieses Telegraphen ist höchst sinnreich, einfach und ohne namhafte Kosten herzustellen; aber es haben wieder die bedeutenden Kosten der zusammengesetzten Drahtleitung, so wie die Schwierigkeit ihrer Isolirung der Ausführung desselben im Großen unübersteigliche Hindernisse entgegengesetzt.

Die Erfahrung hat übrigens in der neuesten Zeit gelehrt, daß häufige, sich oft hintereinander wiederholende elektrische Erschütterungen die Beobachter unempfindlich machen. Die Arbeiter in der Gutta-Percha-Drahtfabrik zu Berlin, welche sich mit der Prüfung der angefertigten Drähte beschäftigen, haben oft nach vollbrachtem Tage in der Hand bis zum Arm hinauf das Gefühl verloren und sind dann eine Zeit lang unfähig, schwächere Schläge wahrzunehmen.

Der Elektromagnetismus in seiner Anwendung auf die Telegraphie.

214 **Die ersten Versuche einer Nadel-Telegraphie.** Noch in demselben Jahre, welches Oerstedt's glänzende Entdeckung bezeichnet, sprach sich Ampère (Ann. de phys. et de chim. t. XV. p. 72) über seine

Idee zu einem elektromagnetischen Telegraphen folgendermaßen aus: »Mittelst eben so vieler Magnetnadeln und Leitungsdrähte, als es Buchstaben giebt und mit Hülfe einer entfernt stehenden Volta'schen Säule, deren Pole man nach einander mit den Enden der Leitungsdrähte verbindet, kann man, indem jede Nadel ein besonderes Zeichen trägt, einen Telegraphen herstellen, durch welchen man einer entfernt stehenden Person, die mit der Beobachtung der Nadeln und ihrer Zeichen beauftragt ist, alle möglichen Mittheilungen machen. Wenn man bei der Säule ein Tastenwerk anbrächte, deren Tasten mit denselben Buchstaben versehen sind, und welche die Säule durch ihr Niedergehen schließen, so könnte dieses Correspondenz-Mittel mit großer Leichtigkeit gehandhabt werden und würde nicht mehr Zeit erfordern, als nöthig wäre, um auf der einen Station die Tasten niederzudrücken, und auf der andern jeden abgelenkten Buchstaben abzulesen.«

Ritchie (Froriep's Notizen, Bd. 27, Nr. 6, S. 86) führte den Ampère'schen Vorschlag mit einer zweckmäßigen Abänderung im Modelle aus. Dreißig Nadeln umgab er mit Multiplicatoren; jede Nadel trug einen leichten Schirm, welcher in dem Ruhezustande der Nadel einen Buchstaben bedeckte und denselben sehen ließ, sobald die Nadel unter dem Einflusse eines Stromes abgelenkt wurde.

Aehnliche Vorschläge gingen von Fechner (Dessen Lehrb. des Galvanismus, Leipzig 1829, S. 269, und Dessen Repert. d. Exp.-Phys., 1832, I. S. 403) aus, und später haben Davy und Alexander in England derartige Nadelapparate im Kleinen zur Ausführung gebracht, in denen sämmtliche Multiplicatoren einen einzigen, gemeinsamen Rückleitungsdraht hatten und also die ganze Drahtleitung beinahe auf die Hälfte reducirt war.

Erst im Jahre 1832 gelang es dem russischen Staatsrathe Schilling von Cannstatt (Amyot in Abhandl. der Par. Akad. der Wissensch. vom 9. Juli 1838), die telegraphischen Vorrichtungen so zu vereinfachen, daß sie einer praktischen Ausführung fähig gewesen wären. Er wandte nämlich nur einen einzigen Multiplicator mit einer Nadel, überhaupt also nur zwei Leitungsdrähte an und konnte nun durch geeignete Combination von mehreren, bald links, bald rechts erfolgenden Nadelablenkungen alle erforderlichen Zeichen hervorbringen. Aber auch er hat es nicht vermogt, die mit der Ausführung seiner Ideen im Großen verbundenen Schwierigkeiten zu überwinden.

Die Nadeltelegraphen.

215 **Nadeltelegraph von Gauß und Weber.** So bleibt also die Ehre, den ersten brauchbaren elektrischen Telegraphen angelegt zu haben, den beiden deutschen Physikern Gauß und Weber vorbehalten, welche 1833 einen vereinfachten Apparat zum erstenmale im Großen zur Ausführung brachten und anstatt der bisher üblichen Volta'schen Säule den Inductionsstrom anwandten.

Ihr telegraphischer Apparat bestand aus einem Inductor, zur Erzeugung des Inductionsstromes, aus einem Commutator und einem Observations-Apparate. Der Inductor war eine aus 1050, später aus 3537 Umwindungen bestehende Drahtrolle, welche an zwei Griffen auf drei zusammengelegte 25pfündige Magnetstäbe rasch aufgestürzt und wieder davon abgezogen werden konnte. Die beiden Enden dieser Drahtrolle standen in Verbindung mit einem Commutator und durch diesen mit den zwei isolirten Leitungsdrähten, welche Weber über die Häuser und Thürme der Stadt Göttingen zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Kabinette ausgespannt hatte. An dem andern Ende waren diese Leitungsdrähte mit dem Drahtgewinde des Observations-Apparates verbunden. Dieser letztere war ein Gauß'sches Magnetometer, bestehend aus einem kräftigen Multiplicator mit 4—25pfündigem Magnetstabe, Spiegel und Fernrohr, durch welches die Zuckungen des Magnetstabes beobachtet wurden, welche durch die auf der entgegengesetzten Station erzeugten Inductionsströme hervorgerufen wurden. Dort entstanden nämlich durch ein rasch hintereinander folgendes Aufstürzen und Abziehen der Inductor-Rolle zwei einander entgegengesetzte Inductionsströme, in Folge deren auf der andern Station der Magnetstab innerhalb des Multiplicators keine weite Excursion machen konnte, vielmehr nach einer kleinen Zuckung sogleich wieder in seine Ruhelage zurückkehren mußte. Vermittelst des Commutators konnte bei gleichbleibender Erregungsweise des Stromes dem nach dem Fernrohre hin gerichteten Magnetpole eine Ablenkung nach der Rechten oder nach der Linken gegeben werden.

Durch Combination dieser zwei Elementarzeichen wurde das Alphabet gebildet, welches, da höchstens vier dieser Zeichen in einer einzigen Gruppe vorkamen, aus 30 Signalen, 20 Buchstaben und 10 Ziffern bestanden.

Indem Steinheil das Princip des Gauß'schen Telegraphen (Nadelablenkung und Inductionsstrom) beibehielt, wandte er als Stromerreger eine Clarke'sche Magneto-Elektrisirmaschine und als Zeichengeber zwei innerhalb desselben Multiplicators aufgehängte Magnete an, welche von

der entfernten Station aus einzeln nach der Willkür des Telegraphisten abgelenkt werden konnten und dann die Elementarzeichen entweder auf einen Papierstreifen abdruckten oder durch Anschlagen von Glocken hörbar angaben. Auf diese Weise entstand der erste Drucktelegraph, dessen an dieser Stelle nur vorübergehend Erwähnung geschieht, weil er seiner Einrichtung nach unter die Drucktelegraphen gehört. Es muß jedoch hinzugefügt werden, daß Steinheil bei den Versuchen, die er im Sommer 1838 auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn anstellte, um zu erfahren, ob sich die beiden Gleise einer Eisenbahn als Leitung für den Telegraphen benutzen lassen, zu der folgereichen Entdeckung gelangte, daß das Erdreich selbst sich als Leiter für den Strom benutzen lasse und dadurch die Hälfte der Leitungskette erspart werden könne. Anstatt daher einen doppelten, hin- und zurücklaufenden Leitungsdraht anzuwenden, verband er auf jeder Station die Enden eines einzigen Drahtes mit einer großen, in das feuchte Erdreich eingegrabenen Metallplatte (gegenwärtig Erdplatte genannt) und ersetzte auf diese Weise die zweite Hälfte des Drahtes durch die zwischen den beiden Erdplatten befindliche feuchte Erdschicht. (Astronom. Jahrb. von Schuhmacher für 1839, S. 171).

Steinheil ist daher als der Erfinder der Drucktelegraphen und als Entdecker der galvanischen Erdleitung zu bezeichnen.

Cooke und Wheatstone. Die ersten Telegraphen von Cooke, der 216
bei der Construction derselben zunächst nur Eisenbahnzwecke verfolgte, bestanden aus einer einzigen, innerhalb eines Multiplicators aufgehängten Magnetnadel, deren zwei einfache Ablenkungen die auf einen Dampfwagenzug bezüglichen Worte »her« und »hin« bezeichneten. Später nahm er zwei Nadeln mit acht Signalen und führte ein solches System auf der Edingburg-Glasgow-Eisenbahn aus. Im Juni 1837 nahm er in Verbindung mit Wheatstone für England ein Patent auf einen zusammengesetzten Apparat mit fünf Nadeln und fünf Leitungsdrähten, der zwar bei Weitem vollkommener und bequemer war, als die früheren, aber im Vergleich zu den um dieselbe Zeit in Deutschland bestehenden Einrichtungen von Steinheil als unpraktisch und hinsichtlich der Leitung als höchst kostspielig bezeichnet werden muß. Er kam zwar auf eine Länge von 39 engl. Meilen auf der Great-Western-Eisenbahn zur Ausführung, aber die Kosten waren so bedeutend, daß eine weitere Fortsetzung der Linie unterbleiben mußte.

Bei diesem Systeme stand auf jeder Station ein Rahmen mit fünf Multiplicatoren und Nadeln, nebst einer Claviatur von eben so vielen Tasten und der Batterie. Die Multiplicatoren standen einerseits mit die-

sen Tasten, andererseits mit den fünf Leitungsdrähten in Verbindung und konnten durch Niederdrücken der Tasten mit der Batterie verbunden werden. In jedem Falle wurde der Strom gleichzeitig durch je zwei Multiplicatoren geleitet und dadurch wurden stets zwei Nadeln zugleich abgelenkt, jedoch nie in paralleler Richtung. Die 20 Convergenzpunkte dieser Ablenkungsrichtungen waren mit Buchstaben bezeichnet; eine jede Ablenkung gab daher direct den gewünschten Buchstaben an. — Durch Vermehrung der Anzahl der Leitungsdrähte um einen sechsten wurden später noch fünf Signale hinzugenommen (Dingl. Journ. Bd. 72. S. 56, 144 u. 213.)

217 **Cooke und Wheatstone's neuester einfacher und Doppelnadel-Apparat.** Die Mängel des vorigen Apparates wurden sehr bald bemerklich; die vielen Leitungsdrähte machten die Anlage einer Linie sehr kostspielig und waren auf die Dauer nicht in demjenigen Zustande der Isolation zu erhalten, der für ein verläßliches Arbeiten durchaus nothwendig war. Die Erfinder gaben daher ihr System auf und indem sie auf das directe Signalisiren der Buchstaben verzichteten, adoptirten sie das Gauß'sche System und stellten die Signale durch Combination der zwei Ausschläge von einer oder höchstens von zwei Magnetnadeln dar.

Die Fig. 186 (s. f. S.) zeigt die vordere Ansicht eines Nadeltelegraphen mit der Signalscheibe. Ein verticalstehender Multiplicator befindet sich innerhalb des Gehäuses, auf dessen Außenseite sich das Zifferblatt und ein Zeiger befindet. Unterhalb desselben ist ein Griff angebracht, durch dessen Drehung nach rechts und nach links die Richtung des Stroms im Multiplicator so regulirt wird, daß der Zeiger auf diesem Zifferblatte immer diesem Griffe parallel nach der Rechten oder der Linken abgelenkt wird. Zur Seite der Nadel befinden sich kleine Anhaltstifte, welche den Ausschlag der Nadel innerhalb einer kleinen Gränze gestatten.

Die innere Einrichtung dieses Apparates ist aus Fig. 187 (s. f. S.) zu ersehen. *A* ist der Multiplicator, welcher durch einen etwa 400 Fuß langen dünnen übersponnenen Kupferdraht gebildet wird, der auf einem Rahmen von dünnem Messingblech aufgewunden ist. Die beiden Abtheilungen der Multiplicatorwindungen sind in unserer Zeichnung absichtlich etwas weiter auseinander gerückt, als es in der Wirklichkeit sein darf, damit die Einrichtung besser übersehen werden kann. Eine horizontale, durch die Mitte des Rahmens hindurchgehende Axe trägt nun zwei Nadeln, von denen die eine, innerhalb des Rahmens liegend, theilweise in unserer Figur sichtbar ist, während die andere, auf der Vorderseite des Kastens liegend, zugleich als Zeiger dient. Beide Magnetnadeln sind

Fig. 186.

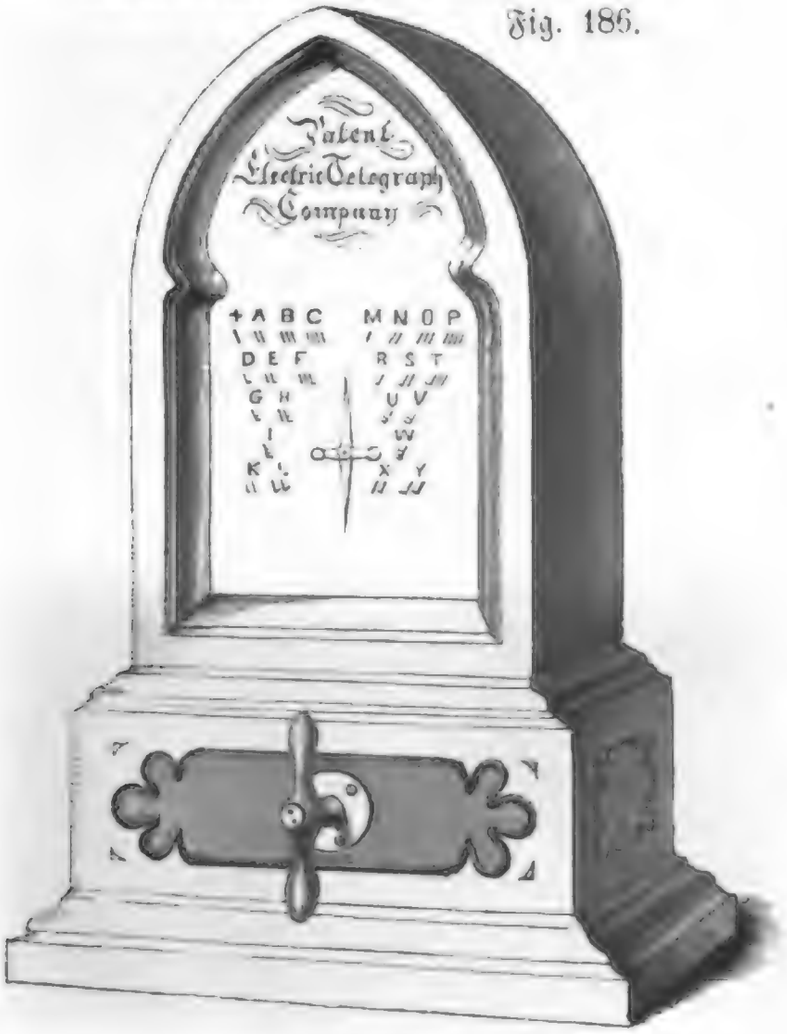
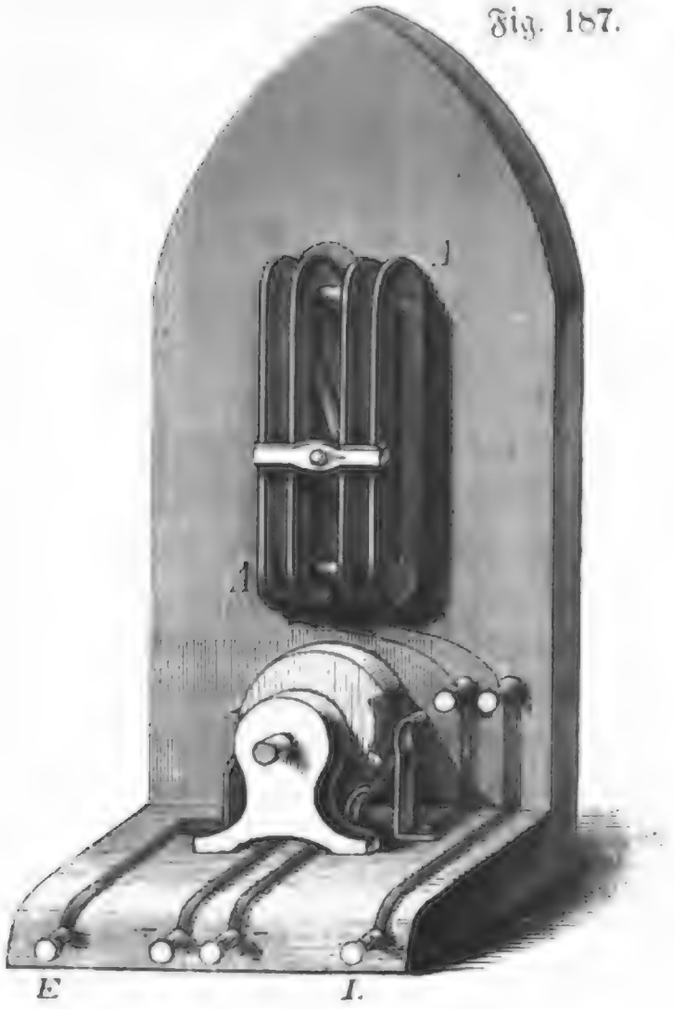


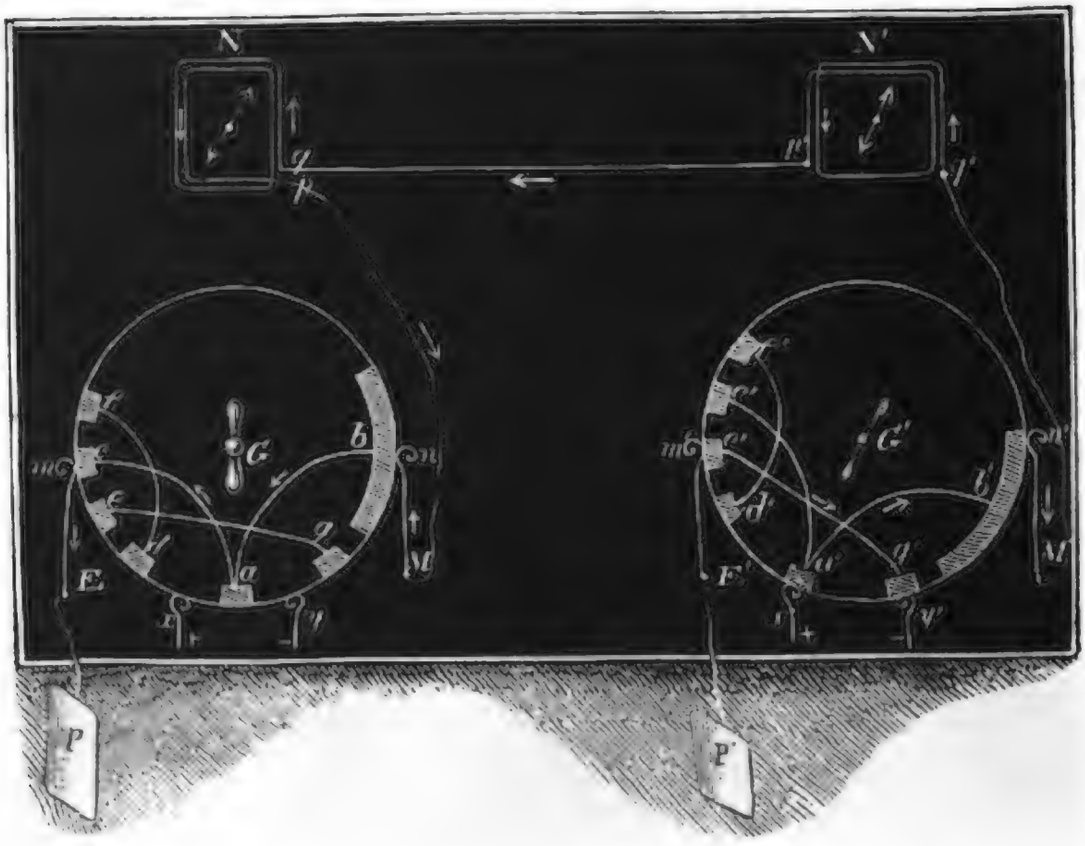
Fig. 187.



parallel; die eine hat den Nord-, die andere den Südpol nach unten gekehrt, ſo daß die richtende Kraft des Erdmagnetismus keine Wirkung auf das Nadelpaar ausüben kann, während der galvaniſche Strom in gleichem Sinne auf beide wirkt.

Der wichtigſte Theil des Apparates iſt offenbar der ſog. Schlüſſel, der durch die Drehung des Handgriffes in Bewegung geſetzt wird und der für den richtigen Lauf des Stromes zu ſorgen hat. Die Einrichtung dieſes Theils des Inſtruments hat mancherlei Abänderungen erlitten; die einfachſten Vorrichtungen dieſer Art ſind in Fig. 188 ſchematiſch abgebildet.

Fig. 188.



Die Figur bezieht ſich auf zwei mit einander in Verbindung ſtehende Stationen. Wie der Schlüſſel mit den übrigen Theilen des Apparates in Verbindung gebracht iſt, erſieht man aus Fig. 187.

G iſt der auf der Außenſeite des Gehäuſes hervortretende Griff des Schlüſſels. Auf der Axe deſſelben ſitzt eine Holzſcheibe feſt, welche ſich demnach innerhalb einer durch Aufhälter markirten Gränze nach der Rechten und nach der Linken drehen läßt. Die Randfläche iſt mit ſieben Contactſtücken, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, von Meſſing verſehen, deren Zwiſchenräume durch Elfenbein ausgefüllt ſind. Auf der Vorderſeite der Scheibe ſind einige dieſer Contactſtücke, nämlich *a* mit *b* und *c*, *f* mit *d*, ſowie *e* mit *g* durch Metallſtreifen, die ſich nicht berühren, mit einander verbunden.

Gegen den Rand dieser Scheibe federn vier Contactfedern, x, y, m, n, von denen die zwei ersteren, x, y, mit den Polen der Batterie, m mit der Erdplatte und n mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes N in Verbindung stehen. Die Anordnung der Scheiben und ihrer Federn ist auf beiden Stationen dieselbe, mit dem alleinigen Unterschiede, daß auf der einen Station (links) die Feder n mit dem Anfangspunkte p des Multiplicatordrahtes N, auf der andern Station aber dieselbe Feder n' mit dem Endpunkte q' dieses Drahtgewindes N' verbunden ist. Die beiden andern Drahtenden q und p' sind an dem Leitungsdrahte befestigt.

Im Zustande der Ruhe haben die Scheiben und Griffe G, G' die verticale Stellung, wie es der linke Theil der Zeichnung darstellt. Dabei sind die Batterien von der Leitung ausgeschlossen, also offen, da ihre Polfedern x, y nicht mit dem Metalle der Schlüssel in Berührung stehen.

Wird aber, wie es bei G' zu sehen ist, der Schlüssel so gedreht, daß der obere Theil des Griffes nach der Rechten zeigt, so wird dadurch die Batterie dieser Station in die Leitung eingeschaltet und der Strom circulirt in der Richtung:

Pol + $x'\ a'\ b'\ n'\ M'\ q'\ p'$, Leitung, $q\ p\ M\ n\ b\ a\ c\ m\ E\ P$, Erde, $P'\ E'\ m'\ e'\ g'\ y'$ — Pol.

Die Art der Windungen der Multiplicatoren N, N' ist nun eine solche, daß bei dieser Richtung des Stromes die Nadeln dieselbe Ablenkung erleiden, welche dem Griffe G' gegeben war.

Eine Drehung des Griffes G' von der verticalen Stellung aus nach der Linken würde den Strom in folgender Richtung durch die Apparate senden: Pol + $x'\ d'\ f'\ m'\ E'\ P'$, Erde, $P\ E\ m\ c\ a\ b\ n\ M\ p\ q$, Leitung, $p'\ q'\ M'\ n'\ b'\ a'\ y'$ — Pol, also in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung, woher dann die Nadeln in entgegengesetzter Richtung, d. h. links abgelenkt werden.

Die Zeichen werden nun durch verschiedenartig combinirte Ausschläge der Nadel gegeben. Das Alphabet ist auf der vordern Seite des Instruments selbst aufgezeichnet. \ bezeichnet einen Ausschlag des obern Nadelendes nach der linken, / ein solches nach der rechten Seite. So ist z. B. A durch zwei Ausschläge nach der linken, N durch zwei Ausschläge nach der rechten bezeichnet. — Ein Theil der schrägen Striche ist halb so lang als die übrigen, wodurch ausgedrückt sein soll, daß unter den zusammenhängenden Strichen die kurzen zuerst zu signalisiren sind; so ist z. B. ausgedrückt: E durch rechts, links, links; I ist ausgedrückt durch rechts, rechts, rechts, links; $L =$ rechts, links, rechts, links; $R =$ links, rechts; $Y =$ links, rechts, links, rechts u. s. w.

Diese Zeichen sind zum Theil etwas complicirt und ihre Ausführung ist ziemlich zeitraubend, weil ein großer Theil der Buchstaben drei und

vier Ausſchläge erfordert. Dieſem Uebelſtande iſt nun durch den Doppelnadel-Telegraph abgeholfen; ein ſolches Inſtrument hat zwei Multiplicatoren der beſchriebenen Art, zwei Nadelpaare, zwei Schlüſſel u. ſ. w.; kurz, es iſt als die Combination zweier einfacher Nadel-Telegraphen zu betrachten. Es erfordert natürlicherweiſe außer der Erdleitung noch zwei Leitungsdräh'e, außerdem noch eine Glocke nebſt Uhrwerk (Alarm), um durch Klingeln auf den Anfang des Telegraphirens aufmerkſam zu machen. Ueber die Einrichtung dieſes Läutewerkes ſpäter.

Solche Doppelnadel-Inſtrumente arbeiten gegenwärtig faſt auf allen Telegraphenlinien Englands, ſo wie zum größten Theile auch in Belgien und andern Ländern.

Fig. 189 zeigt die Vorderanſicht eines ſolchen Apparates mit der Signalſcheibe.

Fig. 189.

Die auf der oberen Hälfte des Zifferblatts befindlichen Zeichen werden durch das Ausſchlagen einer einzigen Nadel, die unteren Zeichen aber durch beide Nadeln hervorgebracht.

Die linke Nadel giebt durch einmaliges Ausſchlagen nach links +, als Zeichen für das Wortende, nach rechts *E*; durch zweimaliges Ausſchlagen nach links *A*, nach rechts *F*; durch dreimaliges Ausſchlagen nach links *B*, nach rechts *G*; durch zwei Ausſchläge erſt rechts, dann links *C*, erſt links, dann rechts *D*. Auf dieſelbe Weiſe giebt die rechte Nadel die Buchſtaben *H*, *N*, *I*, *O*, *K*, *P*, *L*, *M*. Eine parallele Bewegung beider Nadeln mit ihren untern Enden giebt die untern Zeichen an und zwar durch ein einmaliges Ausſchlagen nach links *R*, nach rechts *W*; durch zweimaliges Ausſchlagen nach links *S*, nach rechts *X*, durch dreimaliges Ausſchlagen nach links *T*, nach rechts *Y*.

Digitized by Google

Außerdem befinden sich noch auf dem Zifferblatte die Ziffern und die Worte »Verstanden«, »Nicht verstanden«, »Warte«, »Geh weiter«. Der Zeichengeber giebt nach jedem Wortende +, worauf der Empfänger das Zeichen *E* giebt, wenn er verstanden hat, und + giebt, wenn er nicht verstanden hat.

Der Uebergang von den Buchstaben zu den Ziffern wird von dem Geber dadurch angezeigt, daß er nach dem Wortende + ein *H* und sogleich darauf wieder + signalisirt; der Uebergang von den Ziffern zu den Buchstaben erfolgt auf demselben Wege. Die Ziffern werden durch die am leichtesten darzustellenden Buchstaben repräsentirt, nämlich 1 = *C*, 2 = *D*, 3 = *E*, 4 = *H*, 5 = *L*, 6 = *M*, 7 = *N*, 8 = *R*, 9 = *U*, 0 = *V*.

Der Uebergang von der öffentlichen Correspondenz zur geheimen mittelst des Signallexicons wird durch die Reihenfolge der Zeichen + *N* + angezeigt.

Ist der Telegraphist bei der Ankunft einer Depesche bereits beschäftigt, oder wird er sonst unterbrochen, so giebt er durch die Zeichen + *R* + das Signal »Warte«; ist er im Stande, die Depesche entgegenzunehmen, so giebt er durch + *W* + das Signal »Geh weiter«.

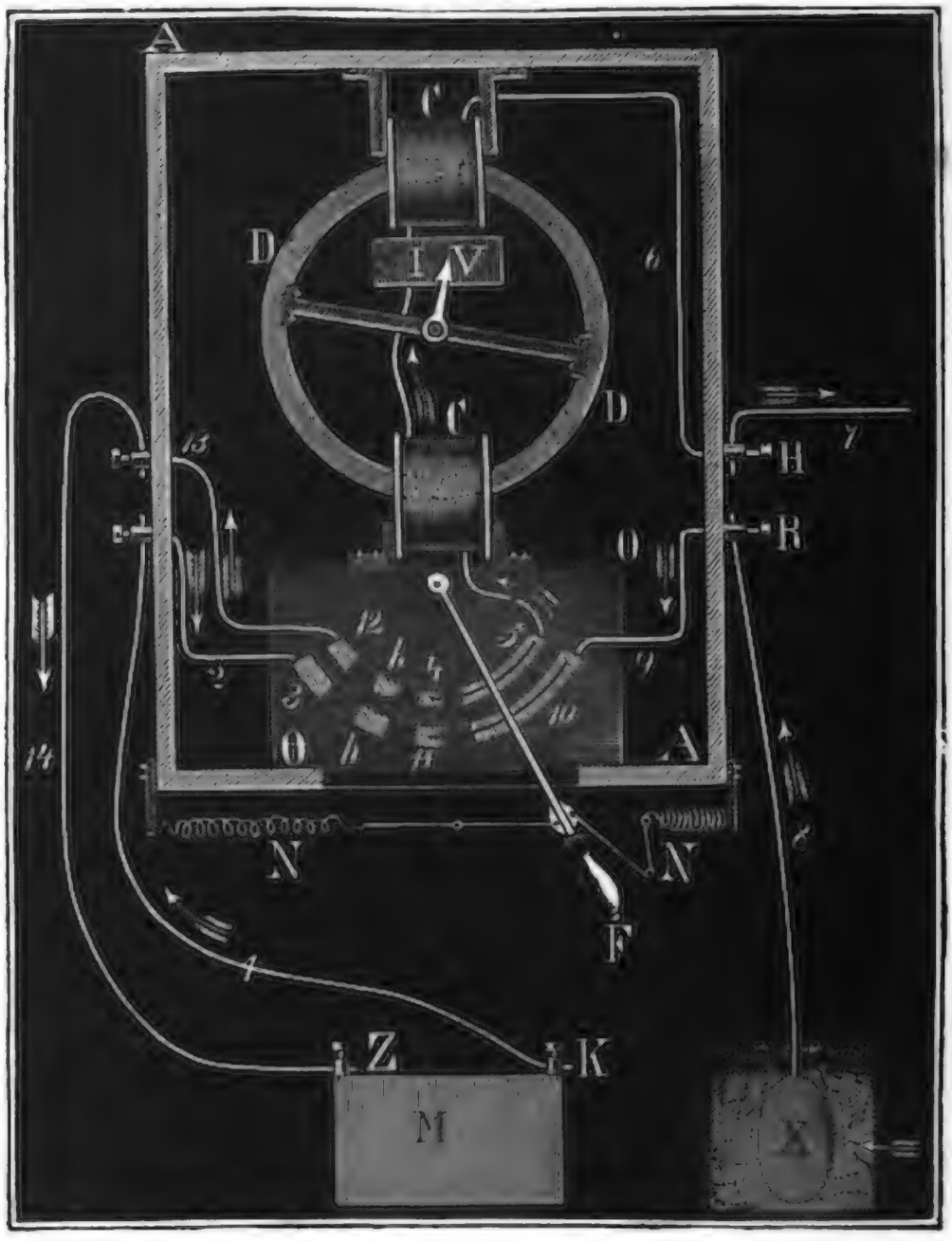
Auch in Oesterreich bedient man sich gegenwärtig noch der Nadelapparate, jedoch von einer andern durch A. Bain aus Edinburg erfundenen Construction (Dinglers Journ. Bd. 101. S. 75). Bain wendet nur eine einzige Nadel an und combinirt das Alphabet und die Ziffern durch Gruppen von höchstens vier Nadelausschlägen.

Fig. 190 (s. f. S.) zeigt die innere Einrichtung dieses Apparats.

Zwei halbkreisförmige Stahlmagnete bilden einen an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen unterbrochenen Kreis und sind zu dem Ende an einer um eine horizontale Axe drehbaren Messingstange befestigt, welche den Durchmesser des Magnetkranzes bildet. Die Unterbrechungsstellen zwischen den beiden mit gleichnamigen Polen einander genäherten Magneten liegen in der Höhlung zweier Holzspuhlen, welche von einem einzigen continuirlichen Kupferdrahte umwunden sind: das eine Ende desselben steht in fester Verbindung mit der Leitung, das andere mit einem Commutator, dessen Aufgabe darin besteht, bald dem von der andern Station kommenden Strome freien Durchgang durch die Drahtspulen zu verschaffen, bald auch den Strom der eigenen Batterie nach Willkür in der einen oder der andern Richtung durch die Leitung hindurchzusenden. Der Bain'sche Commutator ist zwar sinnreich, aber nicht bequem beim schnellen Operiren; er ist daher in den östreichischen Staatstelegraphen durch eine von dem Mechanikus Ekling in Wien erfundene, in Fig. 191 (s. S. 571) abgebildete Vorrichtung ersetzt.

Die beiden Drahtſpulen und ihre Magnete liegen in dem Käſtchen *C*; die verlängerte Axe *i* der letztern trägt den Zeiger *P*, der bald auf *I*, bald

Fig. 190.

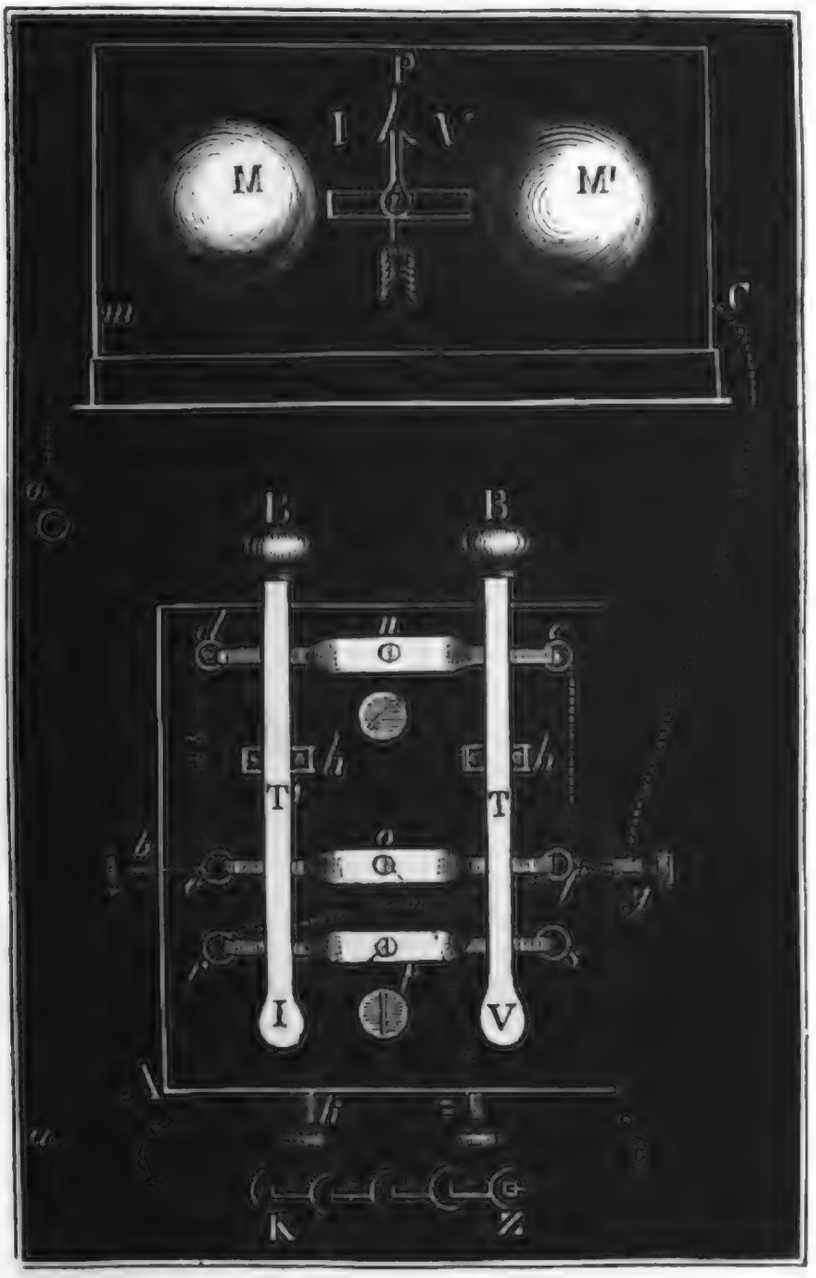


auf *V* zeigt und dabei zugleich gegen die verſchieden geſtimmten Metallglöckchen *M*, *M'* anſchlägt.

A iſt der Commutator; *T*, *T'* zwei um *h*, *h* drehbare Handhaben, welche durch die Bleiſtücke *B B* im Ruheſtande abwärts liegen, die Feder *n* mit *d* und *e* in Berührung erhalten, dagegen die Federn *o* und *p* frei laſſen, ſo daß dieſe nicht mit den Contactſtücken *c*, *f*, *r*, *s* in Verbindung ſtehen. *KZ* ſtellt die Batterie dar; bei *C* tritt das eine Ende des die Holzſpulen umwindenden Drahtes aus dem Käſtchen und geht zu *g* des Commutators, bei *m* das andere und geht in *o* zu dem Leitungs-

drahte; *b a* führt zu der Erdplatte; die metallische Verbindung der Federn und der einzelnen Contactstücke ist durch punktirte Linien angezeigt.

Fig. 191.

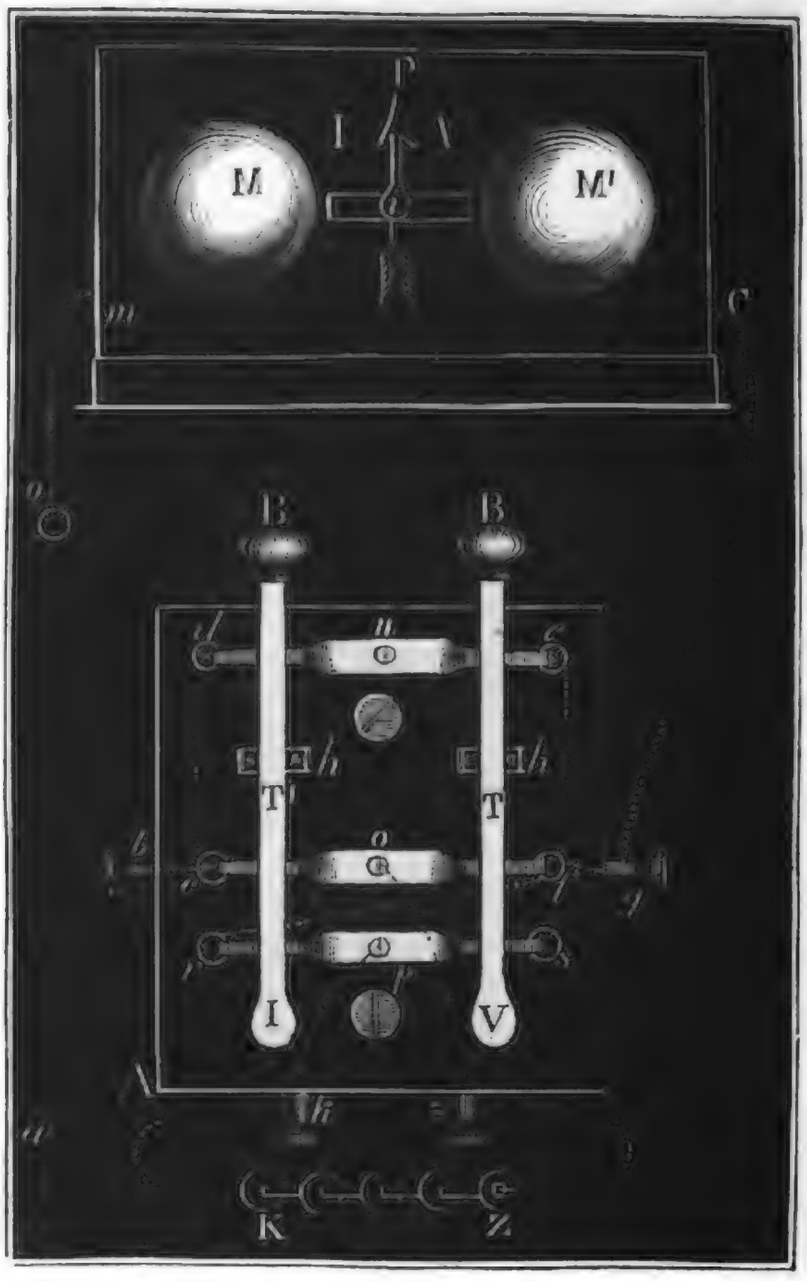


Im Ruhezustande, wo für das Ankommen einer Depesche die Leitung geschlossen, die Batterie offen sein muß, liegen *B B* nieder. Ein von der andern Station kommender Strom tritt bei *o* und *m* in den Apparat, circulirt um die Holzspulen, tritt bei *C* aus und bei *g* in den Commutator und von hier über *f*, *e*, *d*, *c* und *b* durch *b a* in die Erde, um zu der andern Station zurückzugelangen. Es wird dadurch der Zeiger *P* je nach der Richtung des Stromes auf *I* oder *V* abgelenkt.

Will der Telegraphist der entfernten Station das Zeichen *I* geben, so drückt er die Taste *I* nieder; der Strom der Batterie *K Z* nimmt dann

die Richtung durch *Kkprfgcm* zu der Leitung und zu der andern Station, durchläuft dort den Apparat in der vorhin angegebenen Weise,

Fig. 192.



kommt durch den Erddraht bei *b* wieder zurück und gelangt über *c*, *o*, *z* zu dem Pole *Z* der Batterie. Ein Niederdrücken der Taste *V* würde den Strom in entgegengesetzter Richtung durch die Apparate und die Leitung geführt haben, was sogleich ersichtlich ist, wenn man bemerkt, daß dann *n* mit *d* und *c*, *f* mit *o* und *z*, *s* mit *p* und *k* in Verbindung steht, während *c* mit *o* und *z*, *r* mit *p* und *k* nicht mehr leitend verbunden ist.

Die Zeigertelegraphen oder die rotirenden Telegraphen.

Die zweite große Classe von elektrotelegraphischen Vorrichtungen um- 218
faßt diejenigen Apparate, in denen ein Zeiger durch irgend welchen Mechanismus vor einer mit Buchstaben und Ziffern besetzten Scheibe rund läuft und nach der Willkür des entfernt stehenden Telegraphisten vor dem einen oder dem andern dieser Zeichen angehalten werden kann.

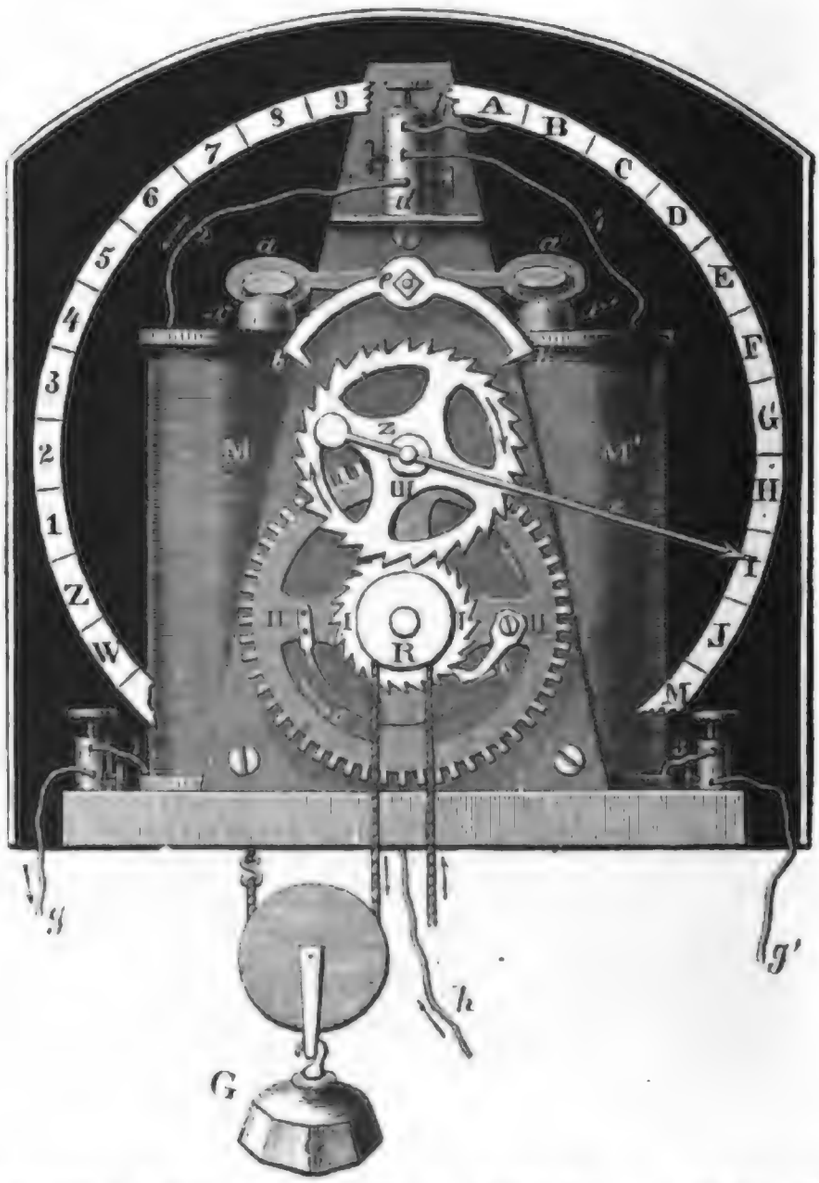
Da zu einer solchen Bewegung des Zeigers ein weit zusammengesetzterer Mechanismus erforderlich ist, als zu der einfachen Ablenkung einer Magnetnadel, und insbesondere die Gleichmäßigkeit des Ganges und die fortdauernde Uebereinstimmung der Zeiger zweier correspondirender Apparate nur durch ganz eigenthümliche Einrichtungen erzielt werden kann, zugleich aber auch gut, d. h. schnell und sicher, arbeitende Zeigertelegraphen gegenwärtig den entschiedensten Vorzug vor allen Nadeltelegraphen verdienen, so wird man begreifen, daß es an den mannichfaltigsten Vorschlägen von neuen, oder an Abänderungen und Verbesserungen von bereits bekannten Zeigersystemen nicht gefehlt hat. Trotz der großen Vollkommenheit der preußischen Zeigerapparate, sind die Bemühungen der ausgezeichnetsten Mechaniker nach dieser Richtung hin gegenwärtig noch nicht zum Abschluß gekommen.

Am 4. Januar 1839 erhielt E. Davy ein Patent auf einen Telegraphen, in dem ein System von Rädern durch ein ablaufendes Gewicht in Bewegung gesetzt, zugleich aber durch ein Echappement oder eine Hemmung regulirt wird. Das Echappement erhält seine Bewegung durch den Anker eines Elektromagneten und vermag die Bewegung des Räderwerkes abwechselnd zu hemmen, und wieder frei zu lassen, je nachdem es sich mit seinen Lippen in die Zähne des Räderwerkes einlegt oder sich daraus hervorzieht. Der übrige Theil des Davy'schen Telegraphen ist ganz unpraktisch; aber die Idee, die elektromagnetische Kraft mit einer Gewicht- oder Federkraft zu verbinden, und die continuirliche Drehung eines Rades vermittelst eines Echappements in eine springende oder absetzende zu verwandeln, war höchst fruchtbar. Ein Jahr später (1840) hatten diese Theile unter den Händen Wheatstone's in einem ganz neuen Signal-Apparate diejenigen praktischen Abänderungen erhalten, durch welche die elektromagnetische Telegraphie einer neuen Entwickelungsperiode entgegengeführt wurde.

Ein Wheatstone'scher Zeigerapparat mit seinen Haupttheilen, dem Communicator oder dem Zeichengeber und dem Indicator oder dem Zeichenbringer ohne Gewichtwerk, ist bereits in dem

Lehrbuch der Phyſik, 3. Aufl. II. S. 218 beſchrieben. Wheatſtone ſelbſt übertrug die Bewegung des Indicators einem Laufwerke, welches, wenn es frei geweſen wäre, den Zeiger vor der Signalſcheibe mit beſchleunigter Geſchwindigkeit herumgetrieben haben würde, aber in ſeinem Laufe durch ein Echappement bald arretirt, bald freigelaſſen wurde, und dadurch den Zeiger ſprung- oder ruckweiſe von einem Buchſtaben auf den andern fortſchreiten ließ. Die Fig. 193 zeigt eine ſolche ſchon ver-

Fig. 193.



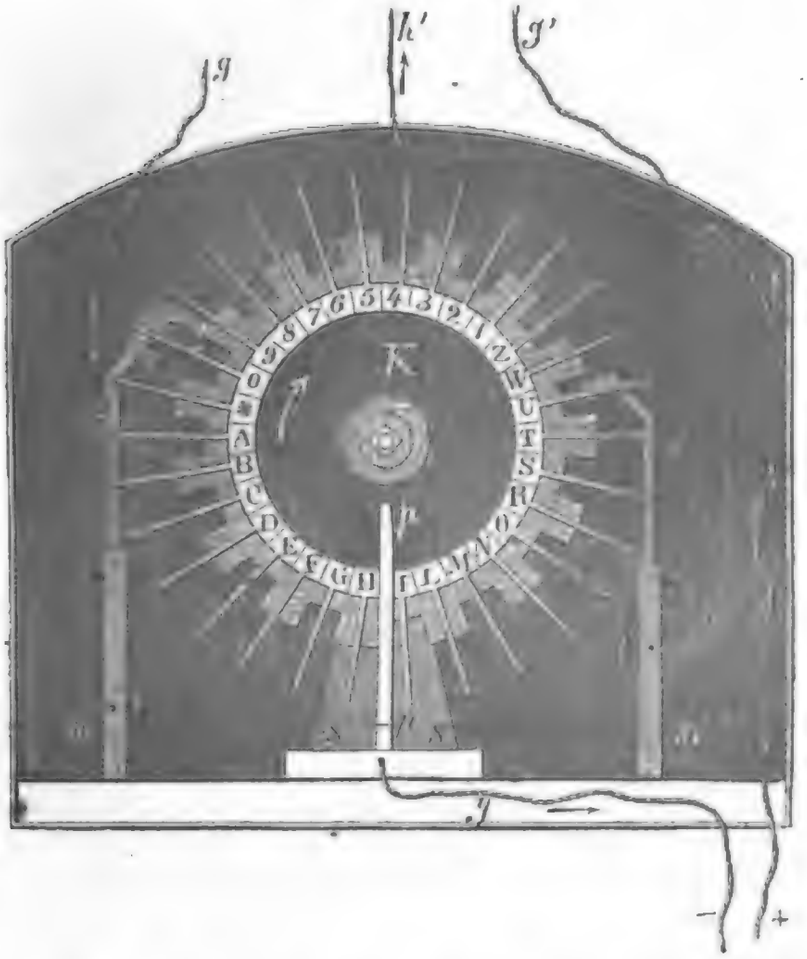
beſſerte Indicator-Vorrichtung. Das Gewicht G, deſſen Schnur über die mit dem Sperrrade I verbundene Rolle R geſchlungen iſt, ſetzt die Räder II und III in Bewegung. Die Axe des letzten Rades geht nach der Vorderſeite des Apparates durch denſelben hindurch und trägt hier den Zeiger $z\,z'$, welcher an dem auf dem Zifferblatte eingegrabenen Buchſtaben und Ziffern vorbeiläuft.

Die Elektromagnete M, M' wirken abwechſelnd mit ihren Polen x, x' auf den mit dem Echappement $b\,b'$ verbundenen zweiarmigen Hebel $a\,a'$,

so daß, wenn a von x angezogen ist, der Haken b in den Zähnen des Rades *III* einliegt, b' aber dieses Rad frei läßt. Die Enden 1, 3 der Umwindungsdrähte der Elektromagnete *M*, *M'* stehen durch Klemmen mit den zwei Leitungsdrähten g, g', die beiden anderen Enden 2, 4 aber durch das Messingsäulchen d mit einem dritten Leitungsdrahte h in Verbindung.

Der Communicator Fig. 194 hat den Zweck, den Strom abwechselnd bald durch den Draht g um den Elektromagneten *M* (Fig. 193),

Fig. 194.

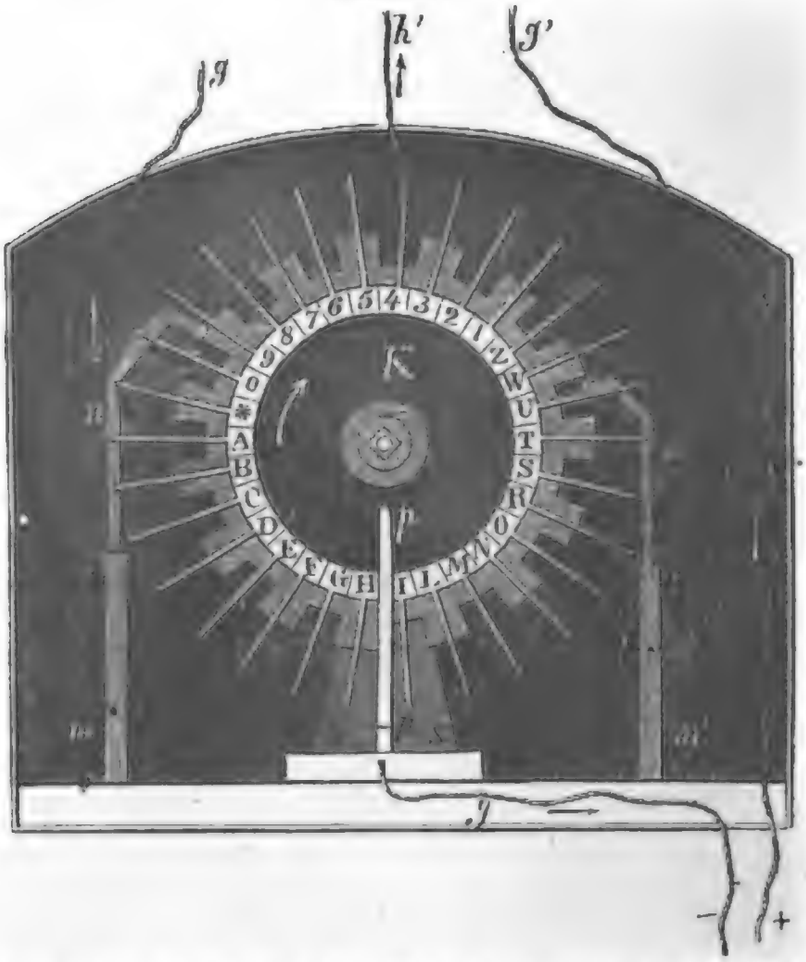


bald durch g' um *M'* zu leiten. Er besteht aus einer Messingscheibe *K*, deren Rand in regelmäßiger Folge halb so viele Ausschnitte enthält, als Zeichen auf der Indicatorscheibe vorhanden sind. n, n' sind zwei Messingfedern, deren Enden bei der Drehung der Scheibe *K* abwechselnd über die Oberflächen der Randvorsprünge und der Einschnitte leicht federnd hinweggleiten. Sie stehen mit den zwei Leitungsdrähten g, g' (Fig. 193) in Verbindung, während der messingene Ständer *SS*, auf dem die Axe der Scheibe ruht, durch einen Draht y mit dem — Pole der Batterie verbunden ist; der + Pol derselben steht mit dem dritten Leitungsdraht h in Verbindung.

Die Wirkungsweise eines solchen Zeigerapparats ist leicht zu übersehen. In der Ruhelage steht im Indicator (Fig. 193) der Zeiger $z z$ auf dem

Zeichen * zwiſchen 0 und *A*; im Communicator (Fig. 195) ſteht dem entſprechend die Speiche * an dem Markirſtäbchen *p p*. In dieſer Stel-

Fig. 195.



lung ſteht die Feder *n' m'* mit der Scheibe *K* und dem — Pole in Verbindung. Der Strom circulirt alſo von + Pol durch *h* nach der andern Station (Fig. 193), tritt bei *d* ein und vollendet ſeinen Kreislauf in der Richtung 4, *M'*, 3, *g'*, *m' n'* (Fig. 195), *K*, *SS*, *y*, — Pol. — Unter dem Einfluſſe von *M'* iſt daher *a'* von *x'* angezogen und *b'* liegt zwiſchen den Zähnen des Rades *III*. Das Uhrwerk iſt alſo arretirt.

Stellt der entfernte Telegraphiſt, die Scheibe *K* links drehend, den Buchſtaben *A* an die Marke *p p*, ſo verläßt *m' n'* den Scheibenumfang und *m n* tritt mit ihm in Berührung; daher nimmt nun der Strom nicht mehr den Weg um *M'* des Indicators, ſondern um *M*, indem er in der Richtung + Pol, *h*, *d* 2, *M*, 1, *g*, *m n* (Fig. 195), *K*, *SS*, *y*, — Pol ſeinen Kreislauf vollendet. Es wird daher *a* von *x* angezogen, das Rad *III* wird unter der Einwirkung des Gewichtes *G* ſo lange frei, bis der Zeiger *z z* auf das nächſte Feld *A* gerückt iſt, wo dann der Haken *b* die Zähne des Rades *III* erreicht hat und daſſelbe ſo lange ſtill hält, bis durch abermaliges Drehen des Communicators *K* die Richtung des Stromes wieder abgeändert und dadurch ein neues Fortrücken des Rades *III* und des Zeigers *z* möglich gemacht wird.

Es ist leicht einzusehen, daß in der Wirklichkeit der Leitungsdraht $h\,h'$ durch Anwendung von Erdplatten unter Benutzung der Leitkraft der Erde ganz in Wegfall kommt; auch wird jetzt in der Praxis einer der Elektromagnete, z. B. M', im Indicator durch eine auf den Arm a' wirkende Spiralfeder ersetzt, wodurch der zweite Draht g' wegfällt und der Telegraph zu seiner Bewegung nur eine einzige Drahtleitung erfordert. Gleichwohl war derselbe in dieser Einrichtung noch weit von demjenigen Grade der Vollendung entfernt, welcher ein schnelles und sicheres Arbeiten garantirt. So lange die Bewegung des Commutators oder des Speichenrades der menschlichen Hand überlassen blieb, war der Gang des Indicators oder des Zeigers vielen Unregelmäßigkeiten unterworfen; bald drehte der Telegraphist das Rad zu schnell, so daß der Zeiger nicht folgen konnte und die Depesche in Unordnung gerieth, oder zu langsam, so daß an Geschwindigkeit verloren ging.

Die nächsten Verbesserungen waren daher darauf gerichtet, den zeichengebenden Theil des Apparates der menschlichen Hand zu entziehen und die Bewegung desselben einem Uhrwerke zu übertragen. So entstanden die Zeigerapparate mit Communicator-Laufwerk (der Indicator konnte dabei ebenfalls ein Laufwerk haben oder auch nicht), unter denen der von Dreſcher erfundene und in seinem Schriftchen »die elektrische Telegraphie,« Kassel 1848. (Schellen's Tel. S. 143 f. f.) beschriebene, eine praktische Anwendung gefunden hat. Das Princip desselben besteht darin, daß ein Uhrwerk eine Scheibe, deren Rand abwechselnd Einschnitte und Hervorragungen hat, in regelmäßiger Bewegung runddreht, dadurch den Strom in regelmäßiger Folge herstellt und unterbricht, also im Indicator den Anker eines Elektromagneten bald zum Anziehen bald zum Abfallen bringt, und so vermittelst einer Ankerhemmung (wie in Fig. 192) oder eines Stiftenrades und einer Gabel den Buchstabenzeiger vor der Signalscheibe ruckweise rundtreibt. Die bewegte Scheibe kann durch Eindrücken von Knöpfen oder Tasten ganz nach der Willkür des arbeitenden Telegraphisten in Stillstand gesetzt, und dadurch gleichzeitig der Zeiger vor jedem beliebigen Buchstaben angehalten werden.

In dem gegenwärtig auf Eisenbahnen und auf kleineren Staatslinien in Preußen vielfach angewandten und sehr brauchbaren Zeigerapparate von Dr. Kramer (ausführlich in Schellen's Telegraph u. s. w. S. 185.) ist endlich die Communicatorscheibe ganz weggelassen und der ganze Mechanismus ist unter Beibehaltung eines Uhrwerkes auf eine große Einfachheit reducirt. Sein rascher und sicherer Gang, seine leichte Handhabung und die Einfachheit seines Mechanismus, machen ihn besonders für Eisenbahnlinien sehr brauchbar.

219 **Der Zeigerapparat von Siemens und Halske.** Die sinnreichsten und zugleich praktisch brauchbarsten Zeigerapparate sind gegenwärtig ohne Zweifel die von dem preuß. Ingenieur W. Siemens und dem Mechanikus M. J. Halske aus Berlin construirten und auf allen größeren Linien des preußischen Staates so wie in Braunschweig und in Belgien arbeitenden Vorrichtungen. Ohne Beihülfe eines Uhrwerkes durch die bloße Einwirkung eines galv. Stromes auf Elektromagnete setzt der Apparat einen Wecker und einen Zeiger in Bewegung, mit einer Sicherheit und einer Geschwindigkeit, die von den anderen durch Uhrwerke getriebenen Vorrichtungen nicht übertroffen wird.

Sowohl der Zeigerarparat als auch die Läutevorrichtung beruht auf dem bekannten Reef'schen Princip der Selbstunterbrechung des Stromes; das große Verdienst der genannten Erfinder besteht daher in der Art und Weise, wie sie dieses Princip zum sichern Betriebe eines Telegraphen angewandt haben.

Der Mechanismus jener beiden Theile, Fig. 196, ist innerhalb einer über der Deckplatte eines viereckigen Kästchens hervortretenden runden Messingkapsel *CCC* eingeschlossen, die bloß die Axe des Zeigers hindurchläßt. An ihrem Rande stehen rings herum die kreisförmig gestellten telegraphischen Zeichen (Buchstaben und Ziffern), an denen der Zeiger *z* bei seiner Bewegung der Reihe nach vorbeiläuft, wie es aus der Fig. 199 ersichtlich ist.

Die zum Betriebe erforderlichen zwei Elektromagnete befinden sich nebst den, in der Figur punktirt gezeichneten, Verbindungsdrähten unterhalb der Deckplatte in dem eigentlichen Raum des Kastens. Auf der Deckplatte sieht man noch das Galvanometer *G'*, den Schieber *S'*, die Contactfedern *R* (Ruhe), *T* (Telegraphiren) und die Drahtklemmen *Z* (Zinkpol), *K* (Kupferpol), *E* (Erddraht), *L* (Leitungsdraht).

Der Weckerapparat ist der einfachere Theil des Ganzen und besteht aus den in der Figur rechts vor dem Haken *h* liegenden Theilen und der Glocke *G*.

NN sind die beiden Pole eines Elektromagneten; seine Schenkel befinden sich unterhalb des Deckels und stehen senkrecht gegen denselben; seine Pole gehen durch den Deckel hindurch und sind mit Kappen oder Schuhen besetzt, die sich dem hervortretenden Eisenkern an der einen Seite rund anschließen, an der andern Seite aber in ebene Platten auslaufen, mit welchen sie auf die ebenfalls plattenförmig gestellten und durch ein S förmig gebogenes Eisenstück verbundenen zwei Anker *B* anziehend einwirken. Die Drehungsaxe dieses Ankers trägt zwei Führungsarme *i* und *f*, welche beide zugleich mit dem Anker hin- und hergehen. Der letztere *f* schlägt bei seiner Bewegung mit seinem klöppelförmig gestalteten Ende gegen die Glocke *G*, der erstere *i* aber liegt zwischen den zwei Schenkeln

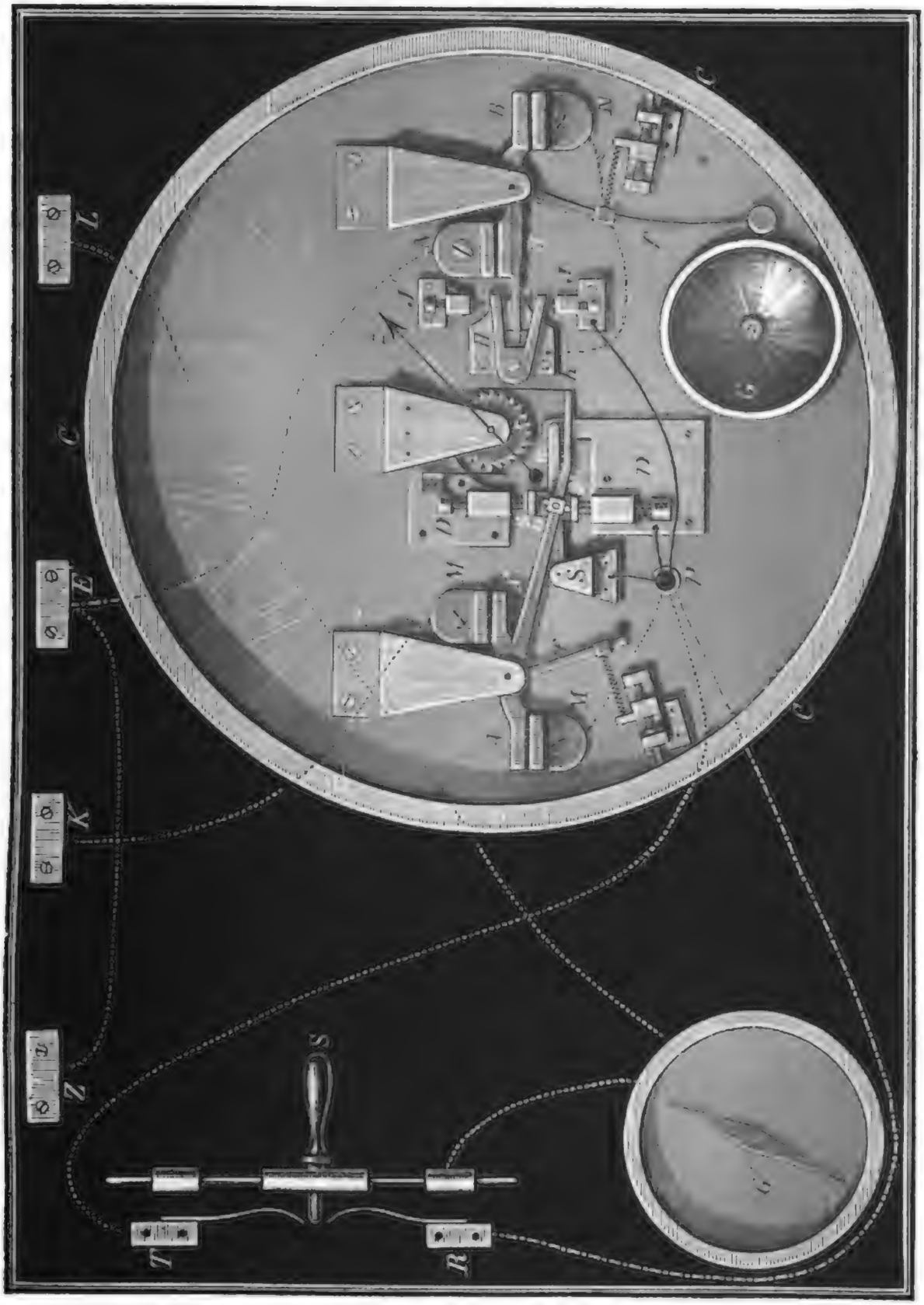


Fig. 196.

einer Messinggabel, welche sich um einen auf dem Fuße *H* stehenden Metallzapfen mit einiger Reibung hin- und herbewegen läßt. Zwei metallene Schraubenspitzen *I*, *I'* schränken diese Bewegung in eine Gränze ein, die der Bewegungsgröße des Ankers genau entspricht, und daher durch Verstellen der Schrauben vor dem Gebrauche des Apparats genau regulirt werden muß. Im Ruhezustande, wo, wie die Figur zeigt, die Anker *B* von *NN* nicht angezogen sind, muß die Gabel eine solche Stellung haben, daß der untere oder vordere Schenkel durch den Arm *i* gegen die Schraubenspitze *I* leicht angedrückt wird. Der Arm *i* trägt an seinem Ende beiderseits eine Elfenbeinspitze, damit sein Metallkörper mit der Gabel nicht in Berührung komme.

Die Enden des den Elektromagnet bildenden Umwindungsdrahtes gehen unterhalb der Deckplatte einerseits an die Drahtklemme *E*, andererseits nach dem Fußgestelle *H*, während ein anderer, dem Wecker ebenfalls angehöriger Draht, von dem Gestelle *I* aus durch die Oeffnung *P* unter die Deckplatte tritt und hier an der Klemme und der Contactfeder *R* festgeschraubt ist.

Man denke sich jetzt den positiven Pol einer Batterie mit *Z*, den negativen mit *R* verbunden. In dem Augenblick, wo die Batterie geschlossen wird, geht dann ein Strom von *Z* über *E* nach dem Elektromagneten *NN* und von dessen Umwindungsdraht nach dem Ständer *H* und dessen Gabel. Da diese gegen die Schraube *I* anliegt, so gelangt der Strom durch die Gabel über *I* nach *R* und dem negativen Pole. Der Anker *B* wird also angezogen und der Arm *i* verläßt den vordern Schenkel der Gabel. Diese selbst aber bleibt gegen die Schraube *I* anliegend und unterhält also den Strom, während der anziehenden Wirkung von *NN* gegen *B* so lange, bis *B* in die unmittelbarste Nähe von *NN* gekommen ist. In diesem Augenblick aber hat der Arm *i* den hintern Schenkel der Gabel erreicht; er schlägt gegen ihn an und dreht die ganze Gabel nach *I'* hin; dadurch verläßt der vordere Schenkel die Schraube *I*, und es entsteht nun zwischen diesen beiden Theilen eine Unterbrechung, wie sie früher zwischen der Gabel und *I'* bestand. Eben dadurch ist für den Strom die Brücke, über welche er von *H* nach *I* gelangen konnte, aufgehoben, er kann nicht mehr circuliren und ist unterbrochen. Der Elektromagnet *NN* läßt seinen Anker *B* fahren und dieser wird nebst dem Arm *i* von einer Spiralfeder, die hier auf den Klöppel *f* einwirkt, vollends in die vorige Lage zurückgezogen. In dem Augenblick aber, wo der Anker in diese alte Lage zurückgekehrt ist, hat auch der Arm *i* durch Anschlagen an den vordern Schenkel die Gabel wieder nach *I* verlegt und dadurch die Brücke für die Circulation des Stromes wieder hergestellt. — *NN* wirkt nun abermals anziehend auf *B* und es wiederholt sich auf diese Weise diese eben beschrie-

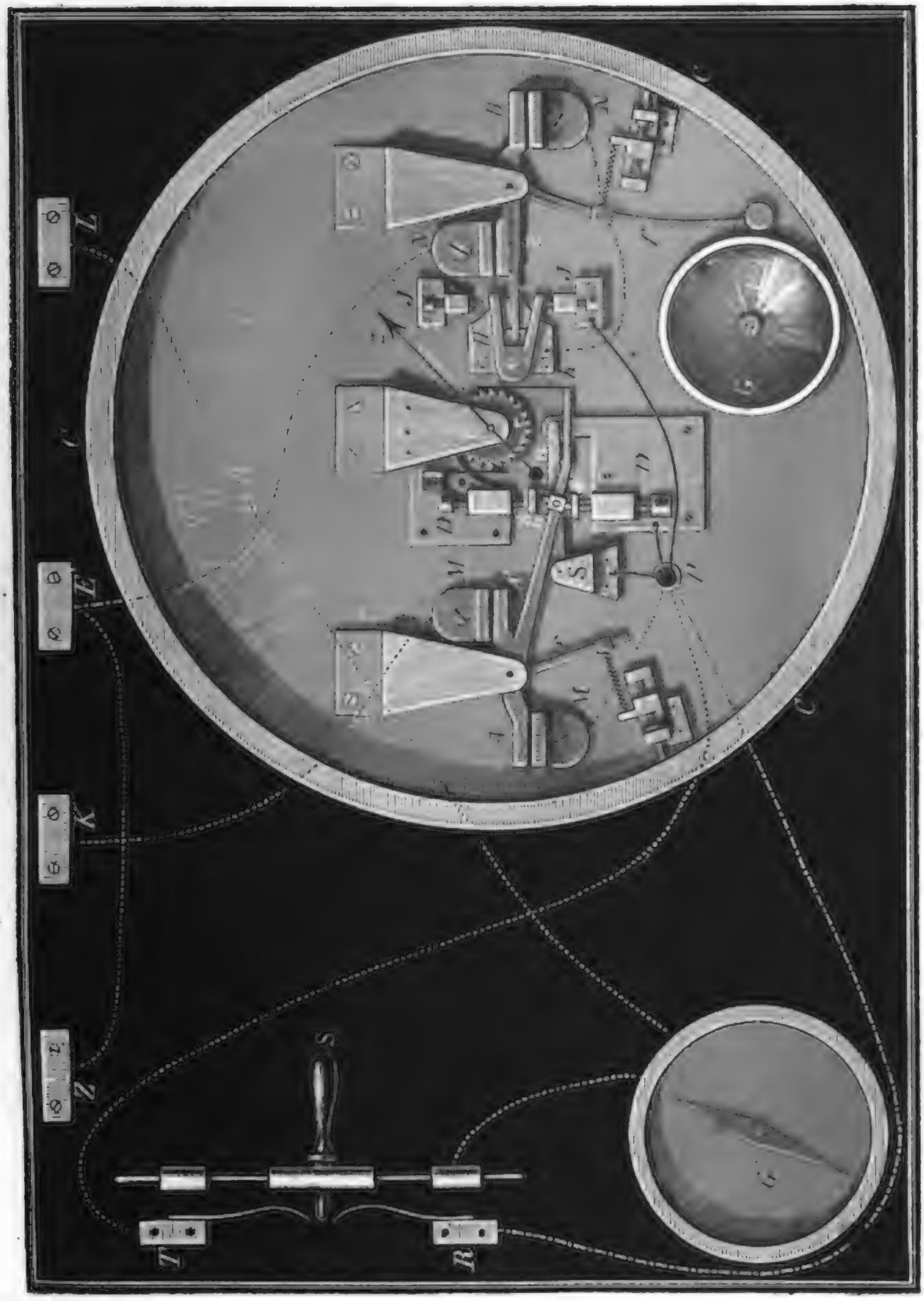


Fig. 197.

bene Bewegung sämmtlicher Theile so lange, als die Batteriepole mit *R* und *Z* in Verbindung bleiben.

Bei der hin- und hergehenden Bewegung des Arms *f* schlägt sein Klöppel fortwährend gegen die Glocke *G*; die Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes erfolgt hierbei durch den Apparat selbst, woher sein Name Wecker mit Selbstunterbrechung.

Der Mechanismus des Zeigerapparates umfaßt die links von dem Haken *h* liegenden Theile: *MM* sind wieder die Pole eines ganz in der oben beschriebenen Weise construirten und aufgestellten Elektromagneten; *AA'* sein plattenförmig gestalteter Anker, dessen Drehungsaxe auch hier einen Arm *oh* trägt, an dessen Ende *h* ein Haken befestigt ist. Dieser greift in die Zähne eines kleinen Stahlrädchens *r* ein, welches nur nach einer einzigen Richtung drehbar ist, indem ein an der linken Seite des Rädchens auf dem Fuße *D* befestigter Sperrhaken die Bewegung nach der entgegengesetzten Richtung verhindert. So oft der Arm *oh* sich nach hinten (in der Richtung von *D'* nach *D*) bewegt, holt sich *h* einen Zahn, und *r* steht stille, bei der Bewegung des Arms *oh* nach vorne, zieht der Haken *h* den ergriffenen Zahn mit sich fort. Durch eine anhaltende Bewegung von *oh* wird daher das Rädchen *r* nach und nach ganz herumgedreht; der Zeiger *z*, der außerhalb der Messingkapsel auf der verlängerten Axe dieses Rädchens aufgeschraubt ist, theilt dabei die Bewegung desselben und gelangt so sprungweise von einem Buchstaben zum andern in derselben Richtung, wie sich die Zeiger einer Uhr bewegen. Außerdem ist noch ein Mechanismus vorhanden, wodurch verhütet wird, daß der Haken *h* bei jedem Gange nie mehr als einen einzigen Zahn fassen, und das Rädchen *r* nicht weiter, als um einen einzigen Zahn herumziehen kann.

Von den zwei Enden des den Elektromagneten bildenden, unterhalb der Deckplatte liegenden Umwindungsdrahtes ist das eine bei *K* festgeschraubt, das andere tritt durch die Oeffnung *P* in die Messingkapsel hinein und ist auf dem Messingständer *S* festgeschraubt; ein dritter Draht geht von dem Messinggestelle *D'* und durch eben dieselbe Oeffnung *P* unterhalb der Deckplatte hinweg zu der Drahtklemme *T* und deren Contactfeder.

Die hin- und hergehende Bewegung des Arms *o* wird auch hier durch Selbstunterbrechung des Stromes auf analoge Weise hervorgebracht, wie bei dem Wecker. Zu dem Ende trägt die Messingplatte *S* einen nahe unter dem Arm *o* hinlaufenden Messingstreifen *m*, auf welchem ungefähr in der Mitte eine kleine metallene Brücke *ss'* befestigt ist. Der Streifen *m* nebst seiner Brücke dreht sich um einen am Ende der Platte *S* befestigten Metallzapfen Bei *s* und *s'* stehen zwei metallene Hervorragungen auf der Brücke, mit welchen diese, bei ihrer hin- und hergehenden Bewegung, bald gegen die Schraubenspitze *D'*, bald gegen *D* anschlägt, und da-

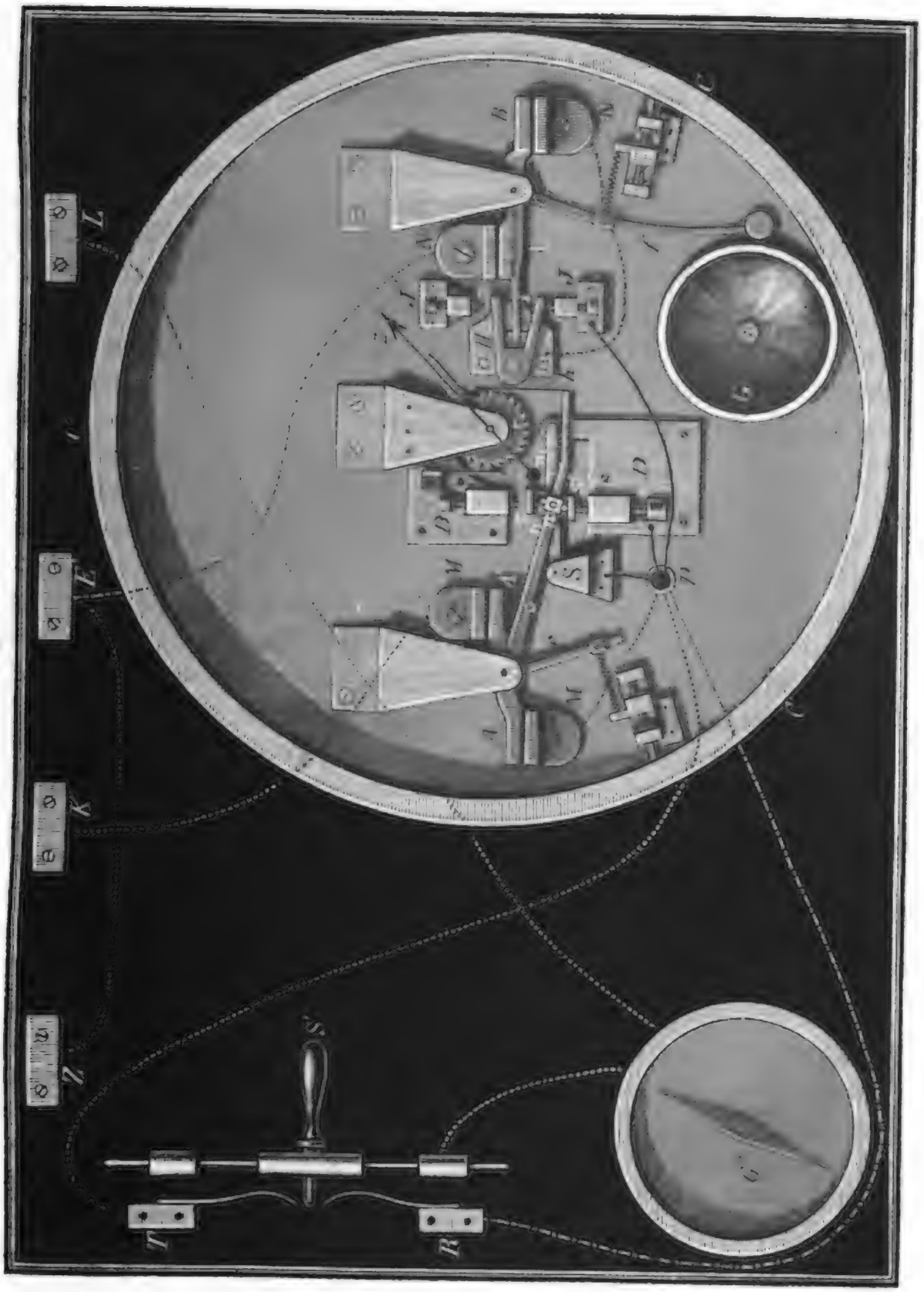


Fig. 198.

durch sich nur innerhalb einer kleinen, der Bewegungsgröße des Ankers AA' genau entsprechenden und durch Versuche vor dem Gebrauche des Apparates zu regulirenden Gränze bewegen kann.

Es zeigt sich nun bald, daß eine Circulation des Stromes um MM nur dann stattfinden kann, wenn s' mit D' in Berührung steht, nicht aber, wenn s an D anliegt oder wenn zwischen s' und D' eine Unterbrechung vorhanden ist, wonach also eine hin- und hergehende Bewegung der Brücke ss' zwischen den Schrauben D, D' eine abwechselnde Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes zur Folge haben muß.

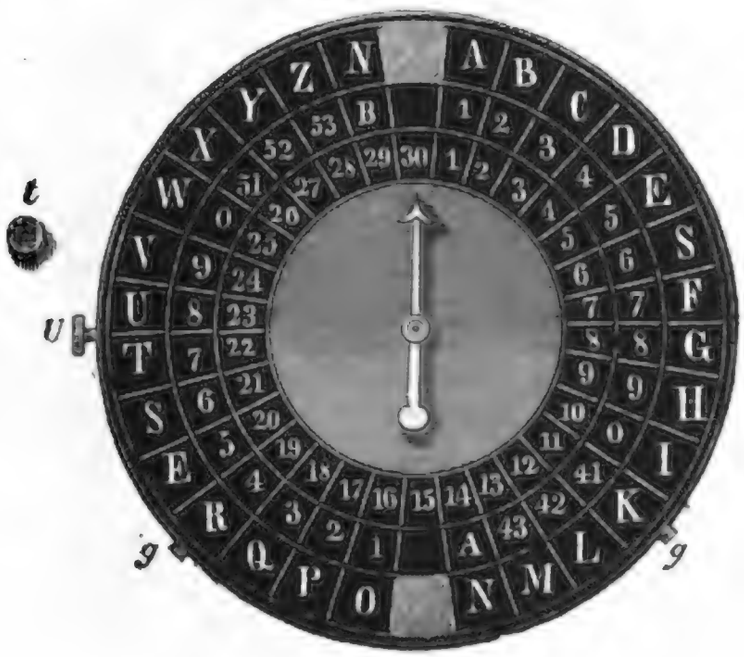
Im Ruhestande des Apparates, wo die Batterie offen, also der Anker AA' nicht angezogen ist und durch eine Spiralfeder f von MM entfernt gehalten wird, drückt das Querstäbchen n die Brücke s' gegen die Schraube D'. Wird in diesem Zustande ein Strom bei T eingeleitet, so kann er in der Richtung T, D', s', m, S, MM, K u. s. w. um den Elektromagneten MM circuliren; der Anker AA' wird angezogen, n verläßt s' ohne die Brücke ss' selbst zu verlegen, also auch ohne den Strom schon jetzt zu unterbrechen, und der Haken h geht nach hinten, um einen Zahn des Rädchens r zu erfassen; dieses selbst aber und sein Zeiger z stehen stille. Der Strom dauert so lange, und die anziehende Wirkung gegen AA' nimmt dabei immer zu, bis der Anker ganz in die Nähe von MM gekommen ist; in diesem Augenblick hat h seinen Zahn gefaßt, und zugleich hat das Querstück n durch Anschlagen gegen s die Brücke ss' nach D verlegt, so daß nun s mit D in Berührung steht, zwischen s' aber und D' eine Unterbrechung vorhanden ist, in Folge deren eine Circulation des Stromes von D' aus über die Brücke ss' nach S zu nicht mehr stattfinden kann. Nun läßt MM seinen Anker fahren, der sogleich nebst seinem Arm oh in die Ruhelage zurückgezogen wird. Indem also h den ergriffenen Zahn mit sich nimmt und dadurch den Zeiger z auf den nächstfolgenden Buchstaben vorrückt, kommt n wieder mit s' in Berührung, und die Brücke ss' wird in dem Momente, wo h seine Ruhelage oder der Zeiger z die Mitte eines Zeichenfeldes erreicht hat, durch Anschlagen von n gegen s' wieder nach D' verlegt, womit eine abermalige Circulation des Stromes um MM möglich gemacht wird. So wiederholt sich auch hier die Bewegung der einzelnen Theile, in Folge deren der Zeiger z sprungweise die Zeichenscheibe durchläuft, so lange, als die Batteriepole mit K und T verbunden bleiben oder irgend ein anderes mechanisches Hinderniß in die Bewegung hemmend eingreift.

Das Letztere geschieht, wenn der Telegraphist während des Telegraphirens den herumeilenden Zeiger z vor irgend einem Buchstaben anhalten will. Es befindet sich nämlich auf der Außenseite der Messingkapsel einem jeden Buchstaben gegenüber eine Taste. Jede Taste wirkt auf einen Messing-

ſtift, der ſich beim Niederdrücken der Taſte in das Innere der Kapſel hineinſchiebt, beim nachlaſſenden Druck aber nebſt der Taſte durch Federkraft wieder in die Höhe geht. Die Axe des Stahlrädchens *r* trägt unmittelbar unter der Fläche des Rädchens einen Arm, der ſo geſtellt iſt, daß er dem obern Zeiger *z* genau parallel iſt und daher auch bei der Bewegung des Rädchens dem Zeiger *z* ſtets parallel bleibt. Dieſer Arm läuft, wenn keine Taſte niedergedrückt iſt, gerade unterhalb der einſchiebbaren Stifte hindurch und hemmt daher die Bewegung des Rädchens nicht. Wird aber, während der Apparat in Thätigkeit iſt und der Zeiger rund läuft, bei irgend einem Buchſtaben, z. B. *C*, die Taſte niedergedrückt, und dadurch der entſprechende Stift eingeſchoben, ſo dauert die Bewegung des Rädchens *r* und des Zeigers gerade ſo lange an, bis der Arm unterhalb *z* dieſen Stift erreicht hat und angehalten wird; damit ſteht dann ſowohl *z* vor dem Zeichen *C*, als auch *r*, *h o*, überhaupt der ganze Apparat ſo lange ſtille, bis die Taſte *C* wieder freigelaſſen wird und der eingeſchobene Stift in die Höhe geht. Die Stellung der Stifte und des Arretirungsarmes des Rädchens *r* iſt jedoch allemal ſo anzuordnen, daß, wenn der letztere von einem der erſteren angehalten wird, der Haken *h* noch nicht den ganzen Weg bis zu ſeiner Ruhelage zurückgelegt hat, demnach das Querſtück *n* des Armes *o* ſich in der Mitte zwiſchen *s* und *s'* befindet, und jedenfalls die Seite *s'* noch nicht erreicht hat. **Wird alſo der Zeiger *z* von irgend einer Taſte angehalten, ſo ſteht *s'* mit *D'* nicht in Berührung und der Strom iſt unterbrochen.** Der Grund hierfür wird aus dem Folgenden klar werden.

Die Fig. 199 zeigt die Anordnung des Zifferblattes; die Buchſtaben *E*,

Fig. 199.



S. N kommen als die in der deutschen Sprache am häufigsten gebrauchten Zeichen zweimal vor; die Felder 41, 42, 43 — 51, 52, 53 und der

Fig. 200.

innerste Ring beziehen sich auf die geheime Chiffre-Correspondenz; *g* und *g'* sind zwei aus der Messingkapsel hervortretende Dornen der auf die Spiralen *f. f'* (Fig. 198) einwirkenden Schrauben, zu denen die Telegraphisten Schlüssel haben, um durch Anziehen oder Nachlassen der Schrauben die Spannkraft der Federn nach Maßgabe der Stromstärke zu reguliren. *U* ist ein Knopf, der an einem auf der linken Platte *A* des Ankers *AA'* einwirkenden Winkelhebel befestigt ist und vermittelst dessen der Telegraphist bei unterbrochenem Strome den Anker *AA'*, also auch den Arm *o* und den Zeiger *z* in Bewegung setzen kann, ohne eines Stromes dabei bedürftig zu sein. Er bedient sich seiner zur Einstellung des Zeigers auf das leere Feld, wenn die Zeiger auf zwei correspondirenden Stationen nicht in Uebereinstimmung sein sollten.

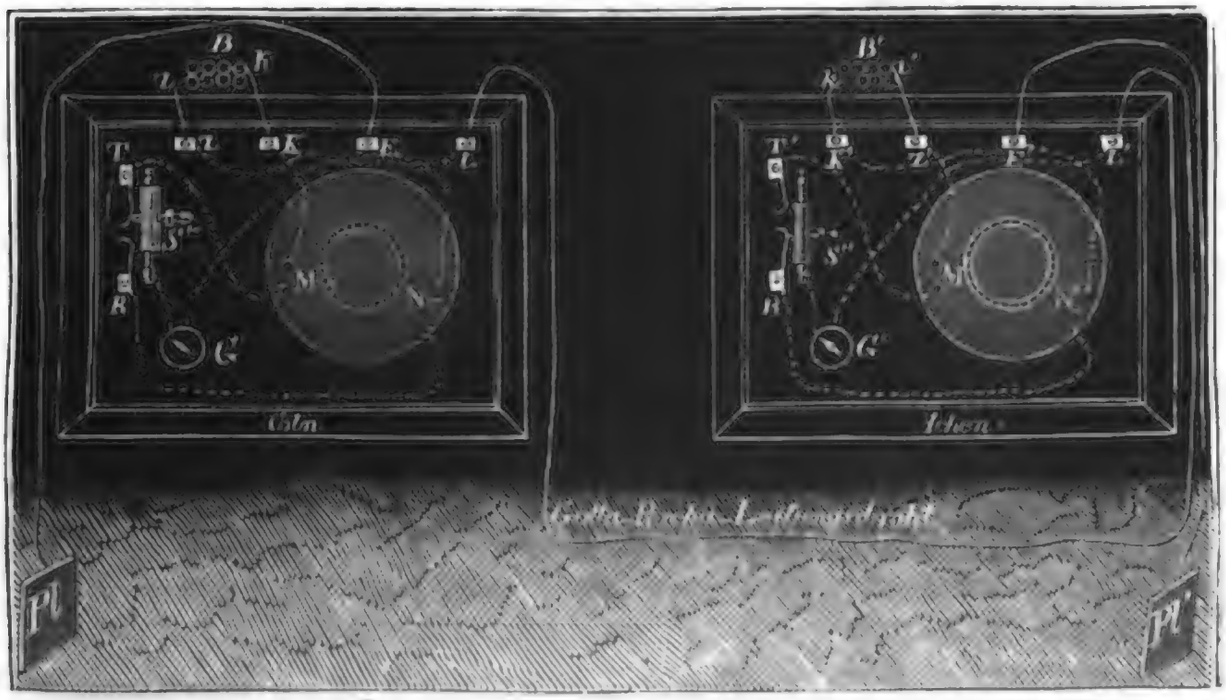
Ueber die Anwendung des Knopfes *t* s. Schellen's Tel. S. 178. Es bleibt noch übrig, den Zusammenhang zweier mit einander correspondirender Apparate, so wie die Art und Weise des Weckens und des Telegraphirens näher anzugeben.

Die Fig. 201. stellt zwei Apparate dar, von denen der eine in Cöln, der andere in Aachen gedacht werden mag, und in denen die Zeichnung des Mechanismus weggelassen ist; die Buchstaben beziehen sich durchweg auf die Theile der Fig. 198.

Die Anordnung der Apparate ist auf beiden Stationen durchaus dieselbe, mit alleiniger Ausnahme der Polverbindung der Batterie. Auf der einen Station (z. B. Cöln) steht nämlich die Klemme *E* mit dem Zinkpol *Z*, auf der andern Station dieselbe Klemme *E'* mit dem Kupferpol *K'* in

Verbindung. Bei E, E' sind die zu den Erdplatten $Pl.$, $Pl'.$ führenden Erddrähte, bei L, L' die Enden des Leitungsdrahtes eingeschraubt;

Fig. 201.



Z, Z' sind die Klemmen für die Zinkpole; K, K' für die Kupferpole der Batterie. Der Schieber S' (vergl. Fig. 198) läßt sich an einer Messingstange entlang vorbeischieben, so daß seine metallene Spitze bald mit der Contactfeder T (beim Telegraphiren), bald mit R (in der Ruhe) in Verbindung steht. Für die Stellung des Schiebers zwischen den Federn T und R, wie in Fig. 198, ist kein Strom möglich. Die Drahtenden des Galvanometers G' sind einerseits mit dieser messingenen Schieberstange, andererseits mit der Drahtklemme L verbunden*). In der Ruhelage stehen die beiden Schieber S', S'' auf beiden Stationen auf R. Bei dieser Stellung sind beide Batterien B, B' offen, denn in Aachen findet vom Pole z' aus über Z', M', T' hinaus keine Weiterleitung statt, und eben so trifft man in Cöln vom Pole k aus über K, M, T (im Falle S' auf R steht), offene Kette. In diesem Zustande stehen die Zeiger des Zifferblattes (Figur 199) auf dem leeren Felde.

Das Telegraphiren geschieht nun auf folgende Weise:

Gesetzt, Cöln will eine Depesche abgeben: Cöln rückt zuerst S' auf T und bringt dadurch die Cölner Batterie B in die Leitung; ihr

*) In der Wirklichkeit befindet sich zwischen G' und L noch eine Vorrichtung, die nur beim Directsprechen, wovon weiter unten, in Anwendung kommt; für die gewöhnliche Correspondenz ist sie überflüssig.

Strom nimmt die Richtung vom *k* Pol aus über *K, M, T, S', G, L,* Leitung *L', G', S'', R', N', E', Pl'.*, Erde, *Pl., E, Z, z* Pol. Ein näheres Verfolgen zeigt leicht, daß ein anderer Weg des Stromes oder eine Abzweigung desselben nicht möglich ist. Unter dem Einflusse des Stromes befinden sich nun:

a) der Wecker *N'* der Aachener Station, und

b) der Zeigermagnet *M* der Cölner Station.

Nun ist aber mit Rücksicht hierauf die Feder (Fig. 198) des Weckermagneten viel schwächer angespannt als die Feder des Zeigermagneten, so daß durch die Stromkraft der einen Batterie *B* der Weckermagnet seine Feder früher überwinden kann, als der Zeigermagnet die seinige. Indem aber *NN* seinen Anker *B* früher anzieht, als *MM* den seinigen (*AA*) und sofort durch die Anziehung von *B* und die Bewegung von *i* der Strom sich unterbricht, so kann der Zeigermagnet *MM* überhaupt nicht zum Anziehen seines Ankers kommen. Der Aachener Wecker ertönt daher, ohne daß der Zeiger in Cöln sich bewegt, obgleich sein Elektromagnet dem Strome ausgesetzt ist.

Der Aachener Telegraphist, durch das Ertönen seiner Glocke aufmerksam gemacht, stellt sofort seinen Schieber *S''* auf *T'*, und nun befinden sich die Batterien *B, B'*, so wie die Zeigermagnete *M, M'* beider Stationen in der Leitung. Die Richtung des Stromes ist dabei, wenn man von *B* ausgeht, folgende:

k Pol *K, M, T, S', G, L,* Leitung, *L', G', S'', T', M', Z', z' B' k', K', E', Pl'.*, Erde, *Pl., E, Z, z* Pol.

Demnach befinden sich die Zeigerapparate *M, M'* beider Stationen unter dem Einflusse eines mit den beiden Batterien *B, B'* erzeugten Stromes, der nun hinreichend stark ist, die Anker *A, A'* (Fig. 198), deren Federn gleich stark angespannt sind, zum Anklappen und die Zeiger auf der Zeichenscheibe zum Rundlauf zu bringen.

Sobald eine der beiden Stationen (Cöln) eine Taste niederdrückt, so hält der Zeiger auf dieser Station an dem dadurch eingeschobenen Stifte an, und der Strom ist zugleich, wie in dem Obigen erklärt wurde, unterbrochen. Da also kein Strom mehr vorhanden ist, muß auch der Zeiger der Aachener Station einen Moment nach dem Stillstande des Cölner Zeigers stille stehen.

Will die empfangende Station (Aachen) die arbeitende (Cöln) unterbrechen, so braucht sie nur eine ihrer Tasten, in der Regel die weiße unten oder oben (Fig. 199) niederzudrücken. Durch das Stillhalten der Zeiger erkennt dann die arbeitende Station sofort, daß eine Zwischenfrage gemacht werden soll.

Läßt nun die empfangende Station die niedergedrückte Taste wieder frei,

so setzen beide Zeiger ihren Lauf wieder fort und es verwandelt sich die empfangende Station in eine arbeitende. — Nach Beendigung einer Mittheilung giebt die arbeitende Station das Zeichen *OEO* (Ende) und hierauf *ORO* (Ruhestellung), worauf jede Station ihren Schieber S, S' wieder auf R, R' herabrückt und dadurch den Apparat in den Ruhestand zurückversetzt.

Eine größere Telegraphenlinie, z. B. von Berlin nach Verviers, auf der belgischen Gränze, zerfällt in der Regel in mehrere Sectionen, die für sich wieder besondere kleinere Linien (z. B. Hamm — Düsseldorf, Düsseldorf — Deutz u. s. w.) bilden, so daß die ganze Linie aus zwei Endstationen und mehreren Zwischen- oder Durchgangsstationen besteht. Für die genannte Linie sind Potsdam, Magdeburg, Oschersleben, Braunschweig, Hannover, Minden, Hamm, Düsseldorf, Deutz, Cöln, Aachen, Zwischenstationen, während die Endstationen Berlin und Verviers sind.

Jede Zwischenstation hat demnach zwei Zeigerapparate, von denen der eine nur mit der vorhergehenden, der andere nur mit der nachfolgenden Station correspondiren kann; nur die Endstationen enthalten einen einzigen Apparat. Für viele Fälle ist es indeß wünschenswerth, daß einige oder beliebig viele Zwischenstationen aus der Leitung können ausgeschaltet werden und jede Station nicht bloß mit der benachbarten, sondern mit jeder anderen Station derselben Linie direct correspondiren kann, insbesondere daß die Endstationen in eine directe Verbindung treten können, ohne daß die Mittheilungen den Weg durch die Apparate der Zwischenstationen hindurch zu nehmen nöthig haben. — Zu diesem Behufe befinden sich auf allen Zwischenstationen sogenannte Ausschalter in Verbindung mit einem Wecker, wodurch es nicht nur ermöglicht wird, daß jede Station unter Umgehung aller Zwischenstationen mit jeder anderen Station direct verkehren kann, sondern auch, daß nach Beendigung der directen Correspondenz den ausgeschalteten Zwischenstationen auf dem Wecker das Signal gegeben wird, daß sie sich wieder in die Leitung einzuschalten haben. Diese Vorrichtungen des Ausschalters und des Weckers und die ganze Art und Weise ihres Zusammenhanges mit den Zeigerapparaten sind nicht minder bewundernswürdig, als der Telegraph selbst; sie gewinnen aber ihr höchstes Interesse durch ihre Verbindung mit dem Morse'schen Drucktelegraphen, wodurch erreicht wird, daß unter Benutzung eines einzigen Leitungsdrahtes bald direct zwischen den Endstationen mit dem Morse'schen Drücktelegraphen, bald direct zwischen zwei beliebigen Stationen mit dem Siemens'schen Zeigerapparate, bald auch stationsweise zwischen zwei benachbarten Stationen mit dem letzten Apparate, je nachdem das Bedürfniß es erheischt, gearbeitet werden kann (Schellen's Telegr. S. 167 — 180, S. 197 — 202, S. 242 — 251).

Eine besondere Erwähnung verdienen endlich noch die seit einigen Jahren 220

auf mehreren Eisenbahnlinien Sachsens und Baierns eingeführten Zeigerapparate von E. Stöhrer. Was diese Telegraphen besonders auszeichnet, ist der Umstand, daß zu ihrem Betriebe keine hydrogalvanische Batterie, sondern eine magneto-elektrische Rotationsmaschine angewandt wird. Letztere erhält ihre Umdrehung durch ein Uhrwerk, und der regelmäßige Wechsel in der Richtung des erzeugten Inductionsstromes ist von einem regelmäßigen Polwechsel des auf den Zeiger wirkenden Elektromagneten begleitet. Zwischen diesen Polen liegt ein permanenter Stahlmagnet, der durch den Polwechsel des Elektromagneten in eine hin- und hergehende Bewegung versetzt wird und diese Bewegung auf ein stählernes Echappement überträgt, das seinerseits wieder in ein Steigrad von Neusilber eingreift. Auf der Welle des Steigrades, das 18 Zähne hat, sitzt der Zeiger, der sich demnach über die 36 Felder der Buchstabenscheibe bewegt.

Das Telegraphiren geschieht hierbei nicht durch Niederdrücken von Tasten, sondern durch Verstellen eines Führungsarmes nach rechts oder links auf dem zu signalisirenden Buchstaben. Der Zeiger hält dann in seinem Laufe genau diesem Buchstaben gegenüber an.

Die Stöhrer'schen Apparate arbeiten mit einer befriedigenden Geschwindigkeit und vollständigen Sicherheit; aber weil ihre Tragweite wegen der verhältnißmäßig geringen Intensität des Inductionsstromes nicht sehr bedeutend ist, so eignen sie sich bei der gegenwärtigen Construction der magnetoelektrischen Maschinen nur für die in der Regel kürzeren Eisenbahnlinien.

Die Drucktelegraphen.

221 Es wurde schon oben bemerkt, daß der erste Drucktelegraph im Jahre 1837 von Steinheil construirt worden ist. Seit jener Zeit hat es an den mannichfaltigsten Versuchen zur Ausbildung dieses Zweiges der Telegraphie nicht gefehlt. Besonders haben Bain, Wheatstone, Vail, Morse, und in der neuesten Zeit wiederholt Bain, so wie Brett, Stöhrer, Dr. Kramer, insbesondere aber Siemens und Halske*) typotelegraphische Vorrichtungen in einer solchen Vollendung zu Stande gebracht, daß die damit angestellten Probearbeiten ganz befriedigende Resultate gewährten. Gleichwohl haben diese Apparate, mit Ausnahme des Morse'schen und der diesen ganz verwandten Stöhrer'schen, in der Praxis noch keine Anwendung finden können, und eine detaillirte Beschreibung wird daher in dem Folgenden auch nur den gegenwärtig, allerdings in dem größten Maßstabe zur Anwendung kommenden Morse'schen Vorrichtungen oder dem Amerikanischen Systeme zu Theil werden.

*) Der Druckapparat von Siemens ist seiner größten Vollkommenheit nahe; er druckt die Depeschen in sehr scharfem Typendruck mit gewöhnlichen Lettern.

Der wesentlichste Theil von Steinheil's Druckapparat ist in Fi- 222
gur 202 abgebildet. *a b* stellt den horizontalen Durchschnitt eines Multiplicators dar, an welchem der mittlere Drahtverlauf weggelassen ist, um einen Blick in die Höhlung der Windungen zu gestatten. Innerhalb dieser letzteren befinden sich die um die Axen *m*, *m'* drehbaren Magnetstäbchen *ns*, *n's'*, deren benachbarte Enden *s*, *n'* leichte, mit capillaren Spitzen versehene und mit einem schwarzen Pigmente gefüllte Schreibgefäßchen *c*, *c'* tragen. Zwei Stifte *h*, *h'*, welche den äußersten Polen *n*, *s'* der Magnete gegenüber stehen, verhindern das Ausschlagen derselben nach dieser Seite hin, und demnach kann jeder Magnet mit seinem inneren Ende (*s* oder *n'*) und seinem Schreibgefäßchen nur nach einer einzigen Seite hin ausschlagen.

Fig. 202.

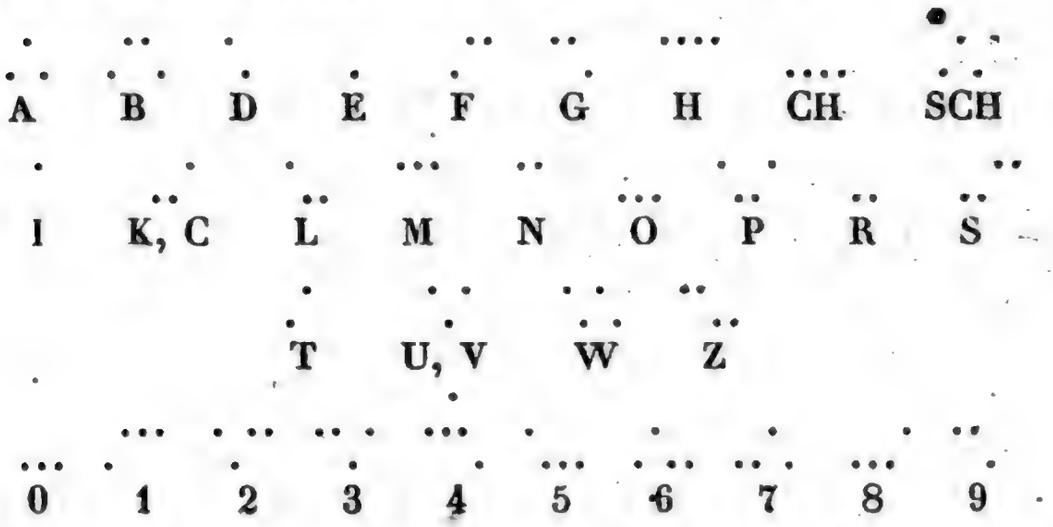
Wenn nun ein Strom von bestimmter Richtung die Nadeln so afficirt, daß ihre Nordpole nach der Rechten ausschwingen wollen, so wird die Nadel *ns*, durch *h* aufgehalten, in Ruhe bleiben, während *n's'* so ausschwingt, daß *c'* sich nach der Rechten bewegt. Ein entgegengesetzt gerichteter Strom bringt die entgegengesetzte Bewegung hervor; es bleibt nämlich *n's'*, durch *h'* aufgehalten, in Ruhe, während *ns* so abgelenkt wird, daß das Dintengefäß *c* nach der Rechten ausschlägt. Zur Hervorbringung dieser zweifachen Ablenkungen ist also nur die jedesmalige Umkehrung des Stromes erforderlich und Steinheil bringt dieselbe durch Umlegen des Inductors einer Clarke'schen Rotationsmaschine nach der einen oder anderen Richtung hervor.

Um diese Ablenkungen, durch deren Gruppirung die Buchstaben dargestellt werden, als Schrift zu fixiren, läßt Steinheil vermittelst eines Uhrwerkes einen langen Papierstreifen über Rollen sich gleichmäßig vor den Schreibgefäßen fort bewegen. Das Uhrwerk treibt die Rolle *l*, und diese wickelt den über die horizontal liegenden Rollen *k*, *i* laufenden und von der Vorrathswalze *p* kommenden Papierstreifen *p i k l* langsam auf sich auf.

Sobald also ein Strom den Multiplicator durchläuft, wird einer der Magnete abgelenkt und sein Schreibgefäß gegen das Papier gedrückt. Der auf

solche Weise gesetzte Punkt wird sogleich nach seinem Entstehen durch die Bewegung des Papiers vom Schreibgefäße fortgerückt, um einem folgenden Punkte Platz zu machen. Eine wiederholte Ablenkung desselben Magneten muß also einen der Lage nach von dem vorhergehenden ganz verschiedenen Punkt zeichnen. Die Schrift wird demnach bei *k* aufgedruckt und befindet sich auf dem zwischen *k* und *l* befindlichen Streifen, bis sie auf *l* aufgerollt wird.

Das Alphabet Steinheil's ist folgendes:



Der Steinheil'sche Telegraph wurde zwischen der königl. Akademie zu München und der Sternwarte zu Bogenhausen eingerichtet; der Leitungsdraht wurde über die Häuser und Thürme der Stadt aufgespannt, und hatte eine Länge (hin und zurück) von 30,500 Pariser Fuß. Ein anderer 6000 Fuß langer Eisendraht verband die Wohnung Steinheil's in der Lerchenstraße mit der Akademie und der Sternwarte, und ein dritter Theil des Leitungsdrahtes (ein 1000 Fuß langer feiner Kupferdraht) führte im Innern der Akademie zu dem physikalischen Cabinette.

223 **Der einfache Morse'sche oder der Amerikanische Telegraph.** Schon im October des Jahres 1832, also fünf Jahre früher, als Wheatstone ein Patent auf seinen ersten Nadeltelegraphen nahm, kam der amerikanische Professor Morse auf einer Reise, die er mit dem Packetboote Sully von Europa nach Amerike machte, auf die Idee, Elektromagnete zur Telegraphie zu verwenden. Indessen erst nach vielen mühevollen Versuchen kam er zum Ziele, und erst im Jahre 1837 wurde die Einrichtung seines Drucktelegraphen bekannt gemacht.

Der Apparat giebt nur zwei Elementarzeichen, einen Punkt und einen Strich; diese Zeichen werden auf der empfangenden Station einem vermittelst eines Uhrwerkes sich abwickelnden Papierstreifen eingeprägt und stellen einzeln oder zu 2, 3, 4, 5, 6 combinirt die Buchstaben, Ziffern und andere convenable Zeichen dar.

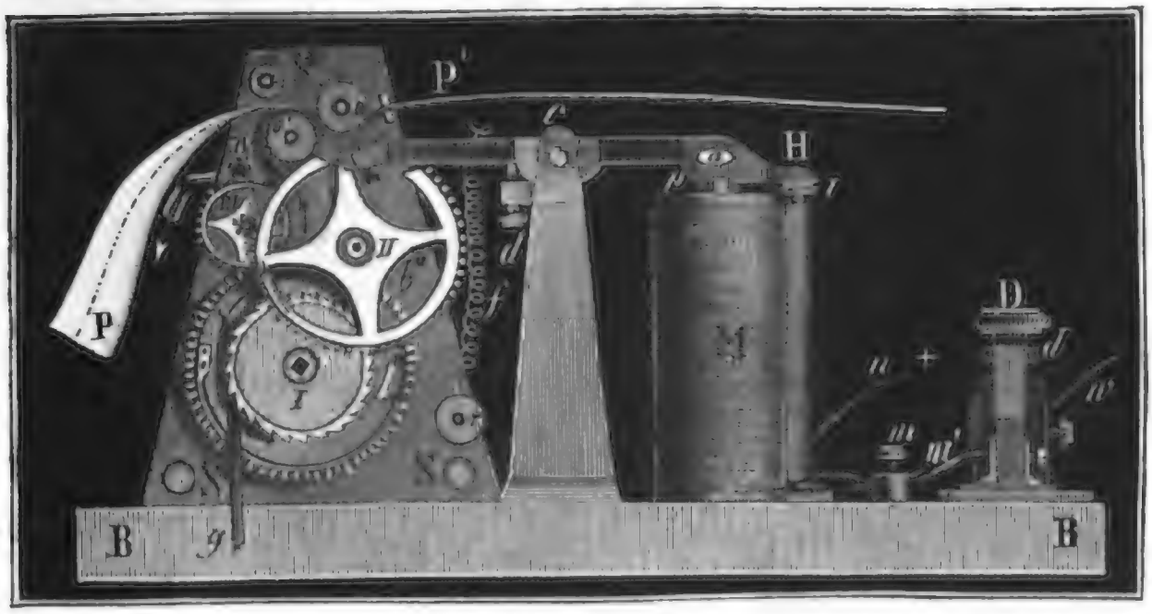
In seiner einfachsten Gestalt besteht der Telegraph Morse's außer der Batterie und dem Leitungsdrahte:

1) aus dem Schreibapparate oder dem Räderwerk,

2) aus dem Schlüssel oder dem Drücker.

Der Schreibapparat ist in Fig. 203 abgebildet. *M* ist der Elektromagnet; das Drahtgewinde desselben ist einerseits mit dem + Pole der Batterie,

Fig. 203.

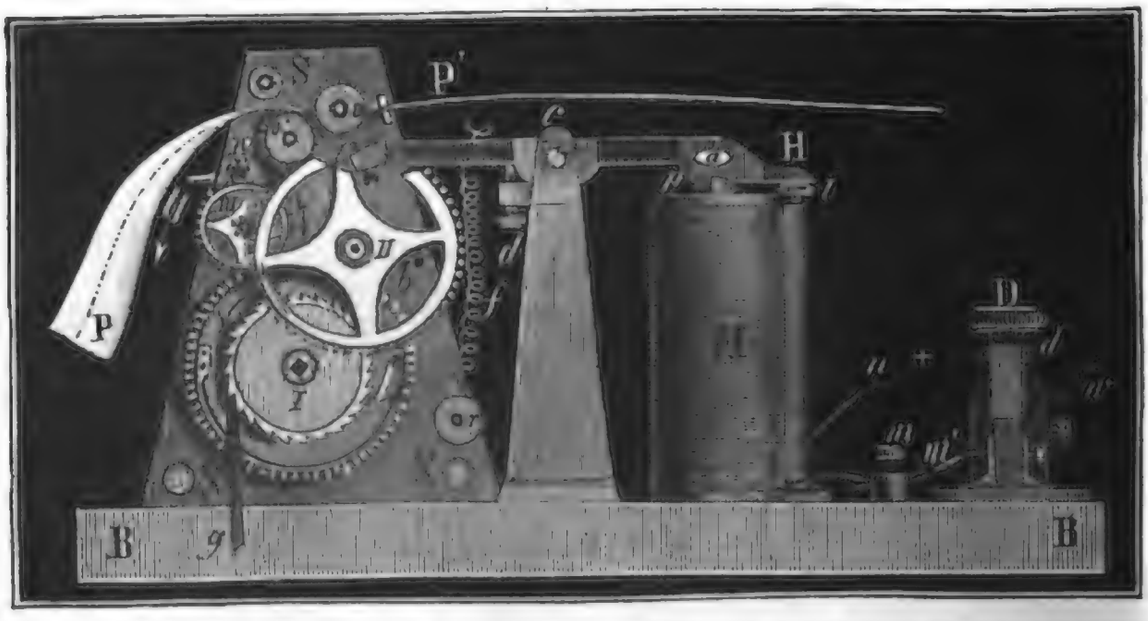


andererseits mit dem Messingsäulchen *m* verbunden. Die Eisenkerne *p* ragen etwas aus der Drahtrolle hervor. Der Anker *a* ist an einem Hebel *Hct* befestigt, dessen Drehpunkt in *c* liegt und dessen Ende *t* einen wohl gehärteten Stahlstift trägt. Durch die Schrauben *i* und *d* kann die Bewegung des Hebels *H* und des Stiftes *t* beliebig regulirt werden. Ein aus der Zeichnung leicht verständliches System von Rädern hat den Zweck, zwei einander sehr nahe liegende Walzen *o* und *o'* in eine entgegengesetzte Bewegung zu versetzen und dadurch einen langen und schmalen Papierstreifen *PP'* in gleichmäßiger Bewegung zwischen diesen Walzen hindurch an den Stift *t* vorbeizuziehen. Die Walze *o* ist genau an der Stelle, welche sich über dem Stifte *t* befindet, mit einer Rinne versehen, so daß der Stift bei seinem Aufsteigen das Papier, welches zwischen ihm und der eingekerbten Walze liegt, in diese Rinne hineindrücken und dadurch einen Eindruck in dasselbe machen kann. Ein Stift, welcher bei *b* eingesteckt wird, oder auch ein Frictionsreifen, der auf die Welle eines der Räder gelegt wird, hält das ganze Räderwerk während des Ruhezustandes in Stillstand; zieht man den Stift *b* heraus oder schlägt man den Frictionsreifen zurück, so setzt sich das Uhrwerk in Bewegung.

Die Signale bestehen, wie bereits gesagt, aus Gruppen von Punkten und Strichen. Sobald nämlich ein Strom den Elektromagneten *M* um-

kreiſet, wird *a* angezogen, der Stift *t* wird in die Höhe geſchnellt und macht in den Papierſtreifen einen Eindruck. Bei der Unterbrechung des Stromes

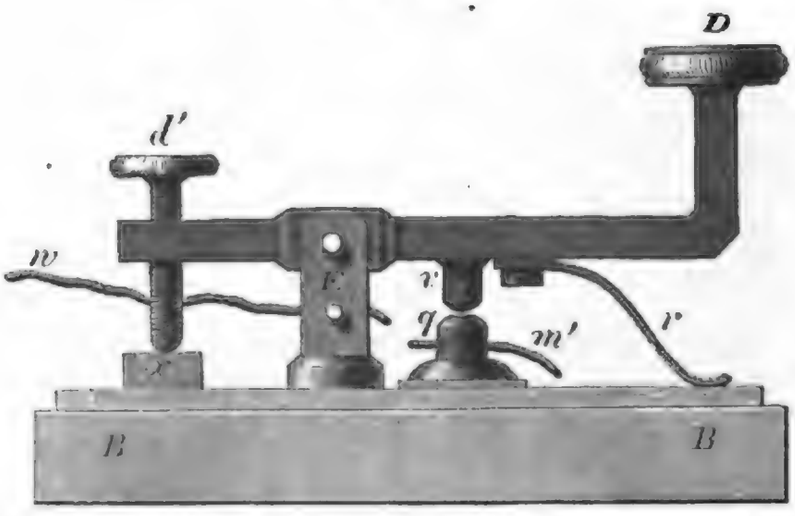
Fig. 204.



hört auch die Anziehung des Magneten auf und die Feder *f* zieht an dem Hebelarme *ct* den Stift *t* zurück. Dauert daher der Strom nur einen Augenblick, ſo macht *t* einen Punkt, dauert er länger, ſo entſteht auf dem ſich bewegenden Papierſtreifen eine Linie. Unterbricht man den Strom eine Weile und ſtellt ihn darauf wieder her, ſo entſteht zwiſchen den Eindrücken des Papiers eine Lücke.

Dieſe verſchiedenen Bewegungen des Stiftes *t* werden durch den Schlüſſel (Fig. 205) hervorgebracht, der in (Fig. 204) mit *D* bezeichnet und mit

Fig. 205.



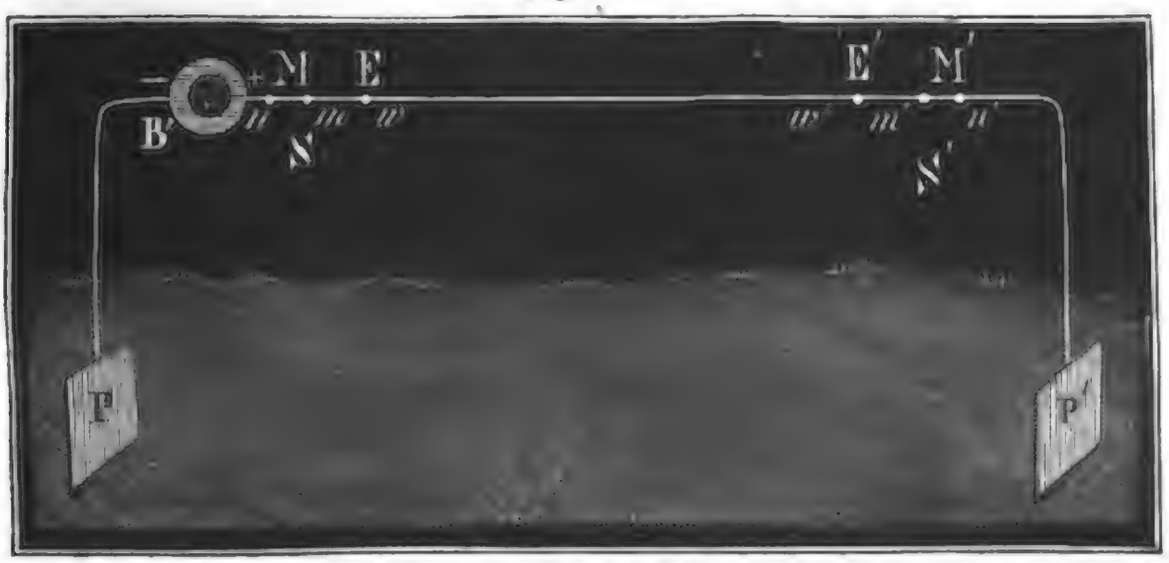
dem Räderwerke auf demſelben Tiſche feſtgeſchraubt iſt. Er beſteht aus einem Meſſinghebel *D*, der in der Meſſingſäule *E* ſeinen Drehpunkt hat und an ſeinem unteren Ende einen Meſſinghammer *v* trägt, durch welchen er

bei seinem Niedergehen mit dem darunter befindlichen Messingamboß q in Verbindung treten kann. Die Feder r sucht den Arm D stets aufwärts zu treiben. Vermittelst der Schraube d', welche durch den Druck von r beständig auf dem Elfenbeinstück x aufruht, läßt sich der Hebelarm D so tief herabbringen, daß der Hammer v mit dem Amboß q in inniger Berührung ist. Diese Stellung nimmt der Schlüssel ein, wenn er nicht arbeitet; man sagt dann, der Schlüssel ist geschlossen; im anderen Falle, wenn v mit q nicht in Berührung ist, nennt man den Schlüssel offen.

Das von dem Elektromagneten M (Fig. 204) kommende und in dem Säulchen m festgeschraubte Ende des Umwindungsdrahtes steht durch den Zwischendraht m' mit dem Amboß q des Schlüssels in Verbindung; in der Säule E ist dagegen das Ende w des von einer Station zur andern sich erstreckenden Leitungsdrahtes festgeschraubt.

Der Apparat in Thätigkeit. In der schematischen Figur 206 bezeichnen S, S' zwei Stationen der Telegraphenlinie; B die auf einer der

Fig. 206.



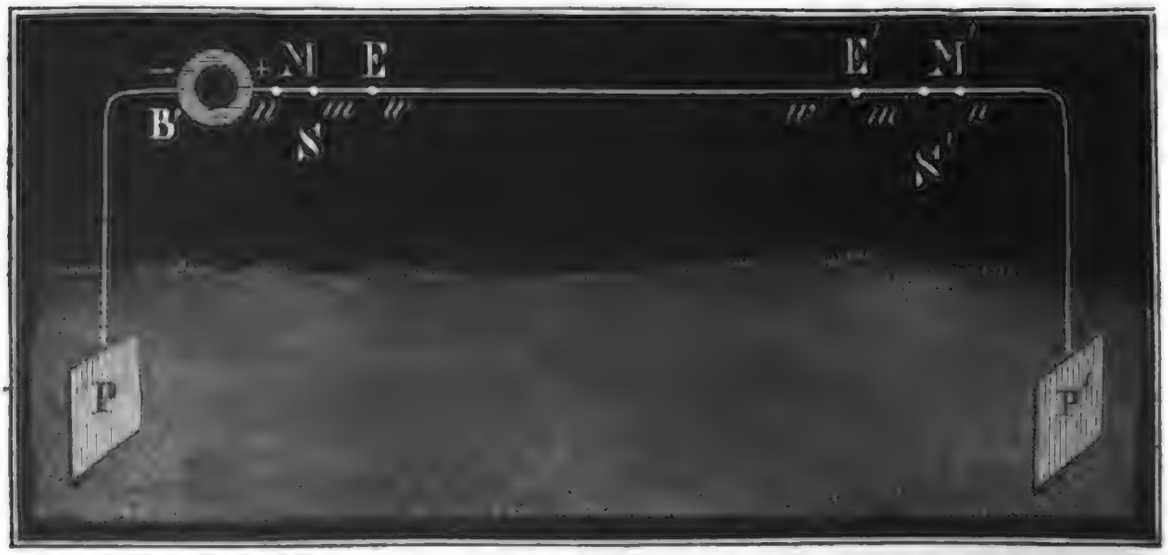
Stationen aufzustellende Batterie; M, M' die Elektromagnete nebst ihrem Räderwerke (Fig. 204); E, E' die Schlüssel (Fig. 205), w, w' den Leitungsdraht; P, P' die Erdplatten, von denen P mit dem — Pole der Batterie, P' mit dem Umwindungsdrahte des Elektromagneten M' in Verbindung steht.

In der Ruhelage sind die Schlüssel auf beiden Stationen geschlossen und es circulirt demnach der Strom der Batterie B ununterbrochen von q (Fig. 205) zu v und E, w u. s. w. überströmend durch die ganze Leitung und um die Eisenkerne von M, M'. Die Anker a (Fig. 204) sind daher bleibend angezogen und die Schreibstifte t drücken gegen das Papier.

Will die Station S eine Depesche abgeben, so öffnet sie ihren Schlüssel durch Lüftung der Schraube d' (Fig. 205), und unterbricht dadurch den Strom. Demnach fällt der Anker a (Fig. 204) sowohl auf S' als auf S

ab. Durch eine rasche Wiederholung des Schließens und Oeffnens des Schlüssels ED wird die Batterie abwechselnd geschlossen und geöffnet, und

Fig. 207.



das Ende H des Ankers a (Fig. 204) eben so oft gegen die Stahlschraube i geschnellt. Dieses Hämmern des Ankers dient dem Telegraphisten auf der Station S' als Signal für den Anfang des Telegraphirens. Letzterer setzt also sein Räderwerk in Bewegung; der Papierstreifen PP' bewegt sich in Folge dessen langsam am Stifte t vorbei.

Indem nun der Telegraphist in S den Arm D mit dem Hammer v des Schlüssels einen Moment auf den Amboß q niederdrückt, also den Schlüssel momentan schließt, wird auf der Station S', wo der Schlüssel die geschlossene Stellung beibehält, von dem Schreibstift ein Punkt gesetzt; hält der Telegraphist in S den Schlüssel einige Augenblicke hindurch geschlossen, so erzeugt der Schreibstift auf S' eine Linie. Bleibt der Schlüssel in S so lange offen, als Zeit nöthig ist, um drei Punkte zu machen, so entsteht in S' auf dem Papier in der Reihe der Eindrücke eine Lücke, welche das Ende eines Buchstaben anzeigt, während eine doppelt so große Lücke als Signal für das Wortende gilt. — 10 bis 20 dicht hinter einander folgende Punkte oder auch eine lange Linie zeigen das Ende der Depesche an, worauf die empfangende Station S' ihr Räderwerk arretirt und die arbeitende Station S ihren Schlüssel schließt.

Als bestes Material für den Schreibstift hat sich nach vielen Versuchen mit Bleistiften, Dinten und allen möglichen Pigmenten, ein aus dem härtesten Stahl angefertigter Stift erwiesen; einmal gehörig geschärft und gestellt, macht er, ohne das Papier zu zerreißen, seine Eindrücke in dasselbe, die scharf genug sind, um leicht erkannt zu werden.

In dieser Form kam Morse's Telegraph zuerst auf der telegraphischen Linie zwischen Baltimore und Washington zur Anwendung. Die beiden Erdplatten P, P' waren von Kupfer, 5 Fuß lang und $2\frac{1}{2}$ Fuß breit.

Das Morse'sche Alphabet, in welchem längere und kürzere Striche vorkamen, und das überhaupt nach Maßgabe der englischen Schrift gebildet war, wird jetzt nicht mehr gebraucht; man wendet gegenwärtig zur Darstellung von Signalen nur Punkte und kurze Striche von gleicher Länge an; auf das für die deutsche Correspondenz eingerichtete Alphabet kommen wir in der Folge noch zurück.

Das Uebertragungsprincip und das Relais. Da behufs des 224
Betriebs eines Telegraphen der Strom in der Regel bedeutend lange und noch dazu feine Drähte zu durchlaufen hat, seine Intensität aber eben hierdurch sehr geschwächt wird, und außerdem durch den Mangel einer vollständigen Isolirung der Drahtleitung vom Erdboden ein beträchtliches Quantum des Stromes auf Nebenwegen seinen Kreislauf vollendet, ohne das Ende der Leitung und die daselbst eingeschalteten Zeichengeber erreicht zu haben: so reichen zum Betriebe derjenigen Apparate, welche einen schweren Gang haben und eine bedeutende Tragweite entwickeln sollen, die gewöhnlichen und die im Vorhergehenden beschriebenen Mittel nicht mehr aus.

In solchen Fällen läßt man die Hauptbatterie, deren Strom durch den ganzen Leitungsdraht nach der entfernten Station hingeleitet wird, und daher Leitungsbatterie genannt wird, nicht mehr direct auf die Elektromagnete der entfernten Zeichengeber einwirken, sondern man verwendet diesen Strom bloß dazu, um daselbst irgend eine kleine Bewegung zu erzeugen und dadurch eine zweite, hier stehende Batterie, Localbatterie genannt, abwechselnd zu öffnen und zu schließen. Die Localbatterie wirkt dann direct auf die Elektromagnete des Zeichengebers und besteht meistens, weil ihr Strom nur sehr kurze und dicke Drähte ohne alle Nebenschließung zu durchlaufen hat, also auf seinem Wege nur sehr wenig geschwächt wird, aus wenigen Elementen.

Die Vorrichtung, auf welche die entfernte Leitungsbatterie einwirkt und die ihrerseits wieder die Localbatterie öffnet und schließt, heißt Uebertrager oder Relais. Das Princip ist bei ihnen allen dasselbe; die Construction ihrer einzelnen Theile und die Art ihrer Einschaltung zwischen den Leitungsdraht und den Apparat ist durch die Einrichtung des Zeichengebers, mit dem sie in Verbindung stehen, bedingt.

Wheatstone (Dingler's Journal Bd. 72, S. 215 ff.) hat dieses Princip zuerst, im Jahre 1839, aufgestellt und davon eine sinnreiche Anwendung auf seinen elektromagnetischen Wecker gemacht. Im Jahre 1845 brachte Morse einen vervollkommneten Apparat von Amerika nach Paris und deponirte ihn dort, ohne ihn vorgezeigt zu haben, auf der amerikanischen Gesandtschaft (Compt. rend. 1846, Bd. 23, S. 880).

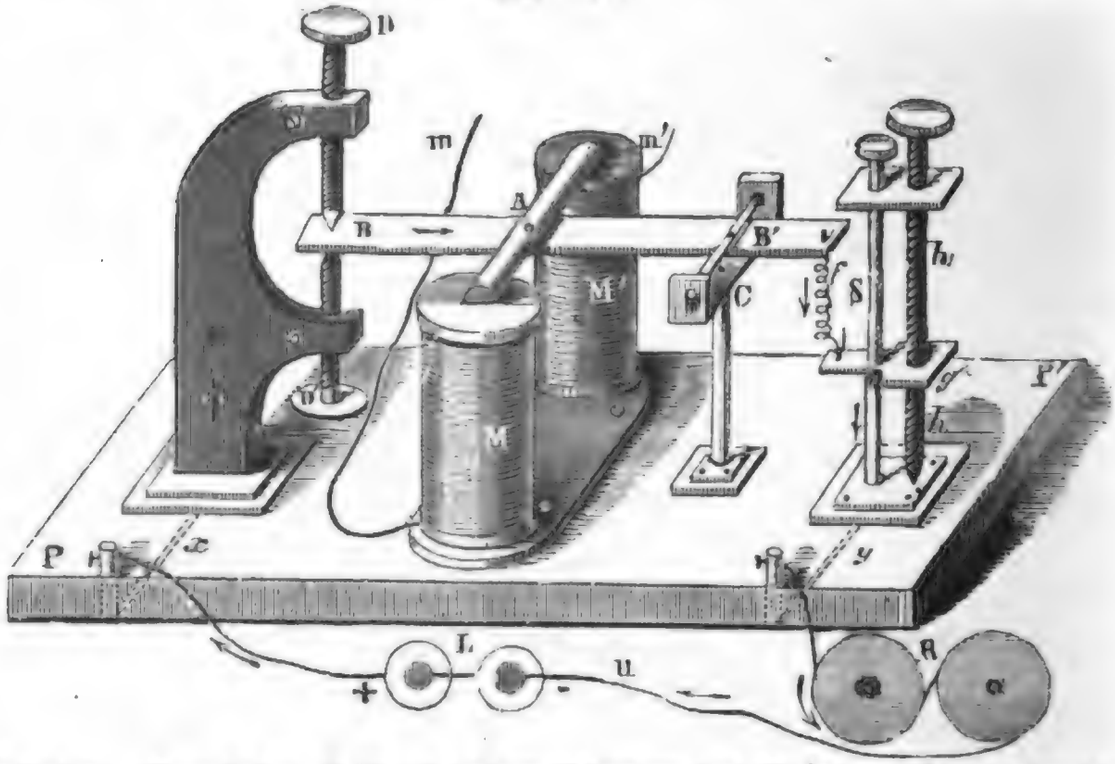
In der neuesten Zeit haben sich Robinson, Halske, Siemens, Kramer und Stöhrer mit der Verbesserung dieser Vorrichtungen be-

ſchäftigt und gegenwärtig ſind dieſelben faſt auf allen längeren Linien in der einen oder der anderen Geſtalt in Anwendung.

Am intereſſanteſten und am meiſten gebraucht iſt das Relais zu Morſe's Telegraph, wie es gegenwärtig auf faſt allen längeren Linien Amerikas, Preußens (Berlin — Deutz, Berlin — Hamburg, Berlin — Frankfurt), Oeſterreichs u. a. in Anwendung iſt.

In Fig. 208 iſt MM' ein Elektromagnet mit ſehr vielen Umwindungen eines feinen Kupferdrahtes; A der auf dem Hebel BB' befeſtigte Anker

Fig. 208.



deſſelben. Der Hebel BB' iſt in den Pfannen des Ständers C leicht drehbar und liegt mit ſeinem Ende B zwiſchen den Spitzen zweier Schrauben D und D', von denen die obere D von Elfenbein iſt, die andere aber mit dem Metallkörper des Trägers E in leitender Verbindung ſteht. Eine Spiralfeder f, die an dem verſchiebbaren Plättchen g befeſtigt iſt und durch die Schraube h je nach Bedürfniß angeſpannt oder nachgelaſſen werden kann, hält den Anker A von den darunter liegenden Eiſenkernen des Elektromagneten MM' entfernt und drückt das Ende B gegen die Elfenbeinſpitze der Schraube D loſe an, ſo lange kein Strom durch die Windungen von MM' circulirt; wird aber dieſer Strom eingeleitet, ſo giebt die Feder f nach, A wird angezogen und der Meſſinghebel BB' tritt mit der unteren Schraube D', ſo wie mit E in metalliſche Verbindung. Alle dieſe Theile E, MM', C, S und h, ſind durch Elfenbeinplättchen, auf denen ſie ſtehen, von einander iſolirt. Von den Metallſtändern E und S aus gehen unter der hölzernen Geſtellplatte PP' die Drähte x, y zu zwei Drahtklemmen, die das Relais mit der Localbatterie und dem Räderwerke (Fig. 204) verbinden.

In der Fig. 208 stellt *R* den Elektromagneten dieses Räderwerkes, *L* die Localbatterie vor; die Art und Weise der Einschaltung dieser Theile in das Relais ist aus der Zeichnung ohne Weiteres verständlich. Die Enden *m*, *m'* des Umwindungsdrahtes von *MM'* im Relais mögen nach der entfernten Station hingeleitet und dort mit den Polen der Leitungsbatterie verbunden gedacht werden.

Wird nun die Leitungsbatterie geschlossen, so wird auf der entfernten Station der Anker *A* angezogen und es tritt *B* mit *D'* in Berührung. Dadurch ist aber die Localbatterie *L* geschlossen und liefert einen Strom in der Richtung +, *x*, *E*, *D'*, *BB'*, *f*, *g*, *S*, *y*, um *R*, *u*, —, in Folge dessen der Schreibstift *t* (Fig. 204) einen Punkt oder, bei längerer Dauer des Stromes um *MM'*, eine Linie macht. Sobald die Leitungsbatterie auf der entfernten Station unterbrochen wird, zieht die Feder *f* im Relais den Anker *A* wieder ab, *B* verläßt die Schraube *D'* und lehnt sich gegen *D* an, der Localstrom aus *L* ist also ebenfalls unterbrochen und der Schreibstift in *R* fällt wieder ab.

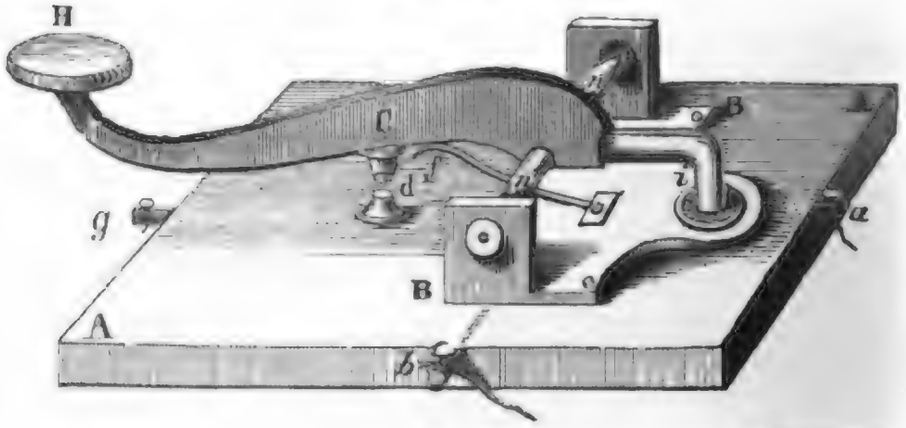
Mittelst dieses Relais oder Uebertragers erlangt der Morse'sche Telegraph, der ohne dasselbe wegen des bedeutenden Kraftaufwandes, den der Schreibstift erfordert, entweder nur auf kürzeren Strecken zu gebrauchen ist, oder auf längeren Linien eine unverhältnißmäßig große Batterie erfordert, bei einer kleinen Batterie eine sehr bedeutende Tragweite; denn da der durch die Drahtleitung circulirende Hauptstrom nur den leicht beweglichen Anker des Relais zu führen hat, wozu eine ganz geringe Kraft ausreicht, der Localstrom aber beliebig stark gemacht werden kann, so vermag der Schreibstift auf 100 und mehre Meilen Entfernung ohne Zwischenstationen mit großer Bestimmtheit seine Zeichen zu geben.

Es bleibt noch übrig, um eine vollständige Anschauung von der Art und 225
Weise zu erhalten, wie gegenwärtig Morse's System mit dem Relais zwischen sehr weit von einander entfernten Stationen (Berlin — Cöln) zur directen Correspondenz (d. h. ohne Anwendung von Zwischenstationen) in Anwendung kommt, die Einschaltungsweise des Räderwerkes, des Schlüssels, der Leitungs- und der Localbatterie, so wie des Relais in dem Leitungsdraht näher anzugeben.

Der Schlüssel hat hierbei folgende von der in Fig. 205 angegebenen Construction etwas abweichende Einrichtung: Der Drücker *H* (Fig. 209 s. f. S.) steht durch seine Drehaxe *nn* und deren Lager *BB* mit der Drahtklemme *b* in beständiger Verbindung; außerdem kann er durch Niederdrücken mit dem Messingamboß *d*, der durch einen Draht mit der Klemme *g* verbunden ist, in Berührung gebracht werden, während er im Ruhezustande mit seinem Vorderende *i* auf einem von dem Lager *BB* durch einen Elfenbeinring isolirten, und mit der Drahtklemme *a* verbundenen Metallstück,

das in der Zeichnung schraffirt erscheint, aufsteht; die Feder *f* drückt nämlich den Vorderarm *HC* stets aufwärts. In diesem Zustande, wo *C* von

Fig. 209.



d getrennt ist, heißt der Schlüssel offen, im andern Falle, wenn *C* gegen *d* niedergedrückt wird, heißt er geschlossen.

Die schematische Figur 210 erläutert nun das Arrangement der drei Haupttheile, des Räderwerkes *R* (Fig. 204 *), des Relais oder des Uebertragers *Ü* (Fig. 208) und des Schlüssels *Sch* (Figur 209), so wie die Einschaltungsweise der Leitungsbatterien *z' k''* und *k' z''*, der Localbatterien *L* und den übrigen Theil des Drahtverlaufes für zwei mit einander correspondirende Stationen, z. B. Berlin und Cöln.

Die einzelnen Theile des Relais so wie des Schlüssels sind hier mit denselben Buchstaben bezeichnet, mit denen dieselben Theile in den bezüglichen Figuren 208 und 209 bezeichnet sind.

K, K bezeichnen die Erdplatten; der sich zwischen *z* und *k* erstreckende Draht ist der entweder auf Stangen durch die Luft ausgespannte, oder, wie in Preußen, in einer Gutta-Percha-Hülle eingeschlossene Leitungsdraht.

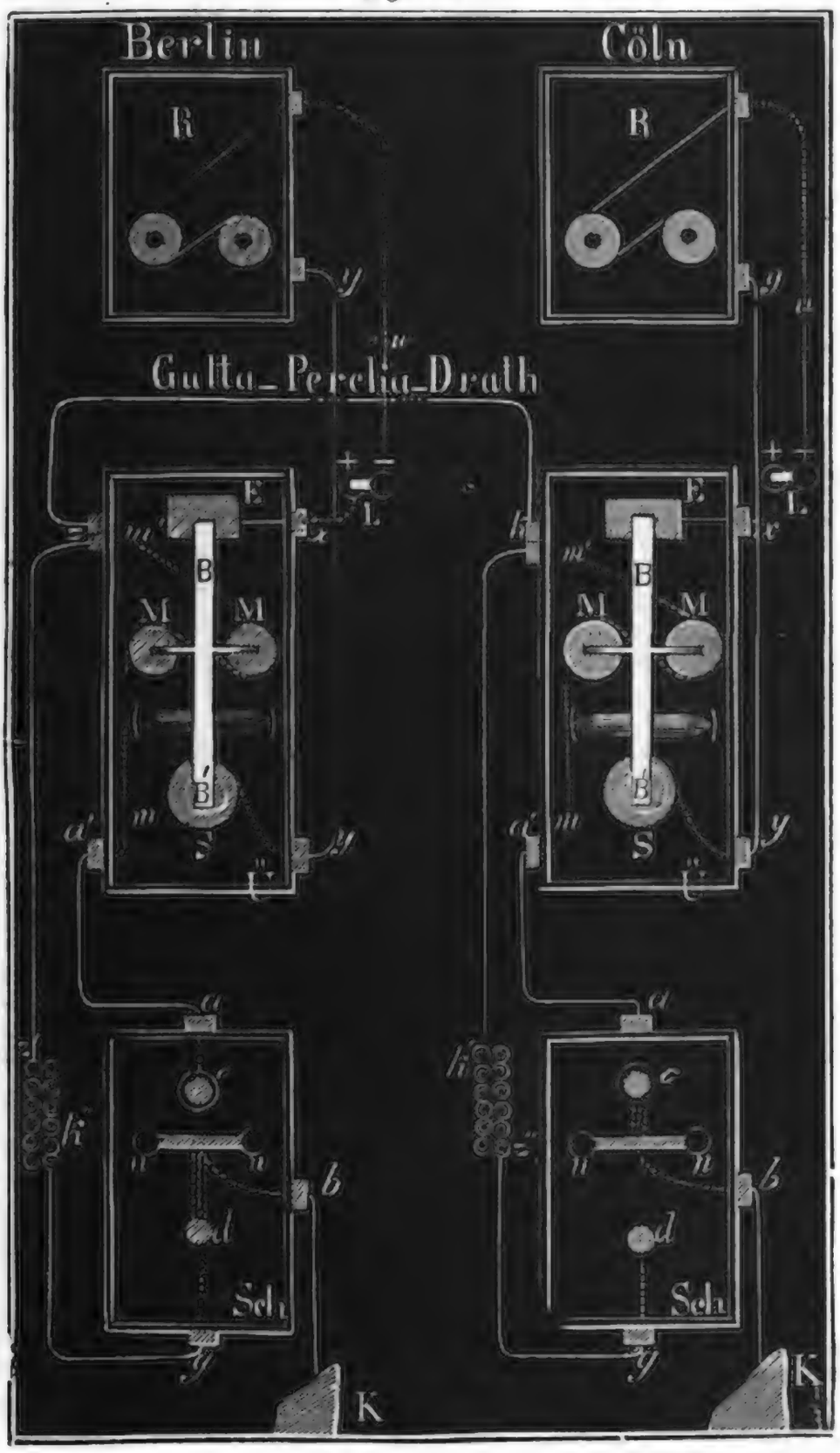
In dem Ruhezustande des Telegraphen ist auf beiden Stationen der Schlüssel offen, d. h. es steht der Hebel *HCi* (Fig. 209) und seine Axe *nn*, daher auch *b* und *K*, mit *c* und *a* in Verbindung. Dadurch ist sowohl jede Localbatterie, als auch jede Leitungsbatterie offen, denn der Strom der erstern findet bei *E* (Fig. 208), der Strom der letztern bei *d* (s. Cöln) keine weitere Leitung.

Berlin will nun eine Depesche abgeben: Der Telegra-

*) Die Stücke *m, m', D d' w* dieser Figur sind im Gedanken zu entfernen, und die Drahtenden des Elektromagneten zu befestigen, wie es die Figur 210 angiebt.

phiſt in Berlin drückt den Griff *H* (Fig. 209) nieder und ſchließt den Schlüſſel, wodurch *d* mit *nn* und *b* in Verbindung tritt, die Verbindung zwiſchen *nn* und *c* aber aufgehoben wird. Hierdurch iſt die Berliner Leitungsbatterie geſchloſſen und liefert einen Strom in der Richtung *k''*, *g*, *d*, *nn*, *b*, *K*, durch die Erde nach Cöln, in Cöln: *K*, *b*, *nn*,

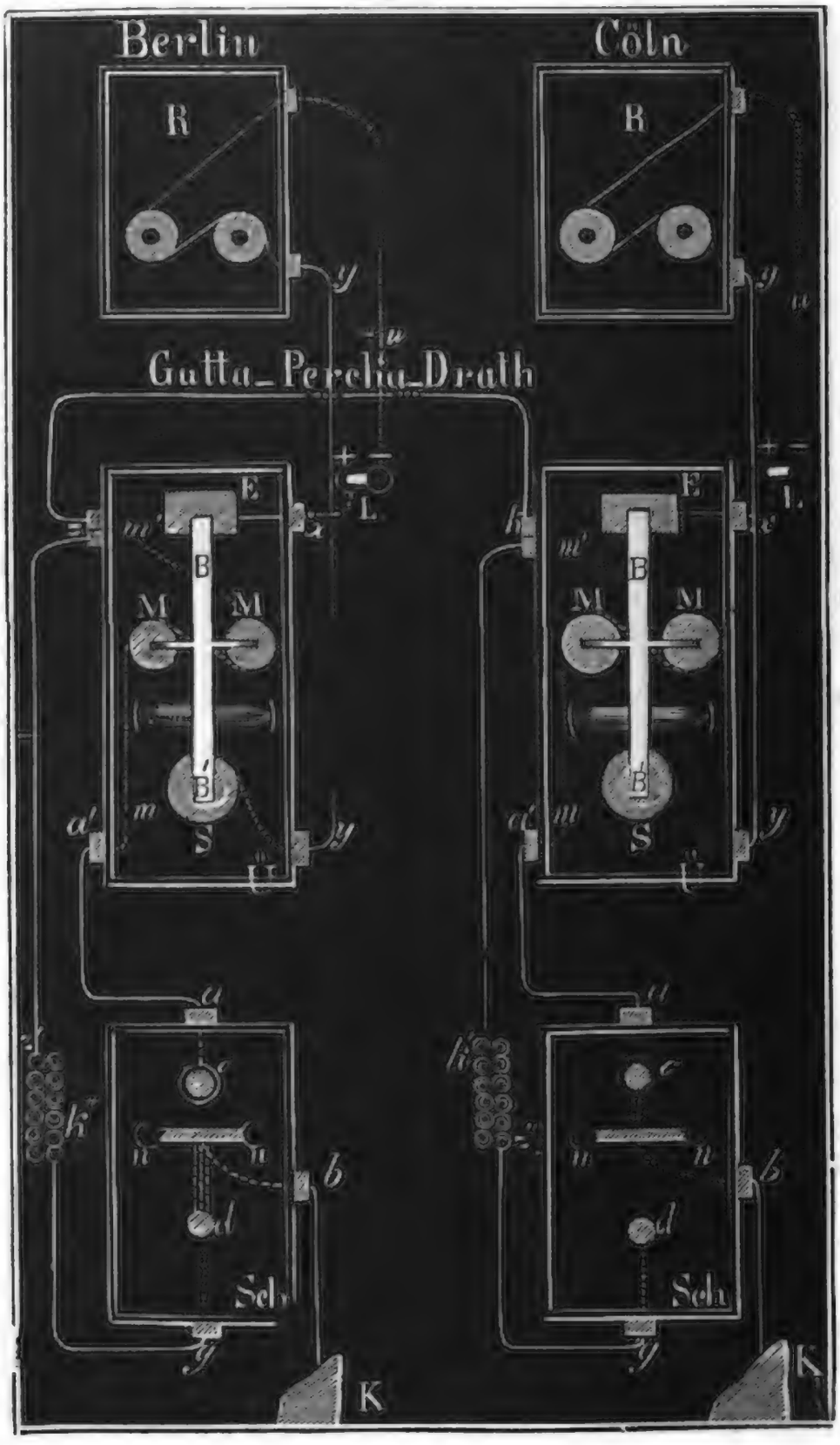
Fig. 210.



c, *a*, *a'*, *m*, *MM*, *m'*, *k*, durch den Leitungsdraht nach Berlin zurück, in Berlin: *zz'*.

Der Berliner Strom magnetiſirt alſo den Elektromagneten *MM* des Cölner Relais, wodurch, wie in Nr. 14 gezeigt wurde, in Cöln der Hebel *BB'* mit *E* in Verbindung tritt, die Localbatterie *L* geſchloſſen,

Fig. 211.



und ein Strom in der Richtung $+$, x, E, BB', S, yy, R, u, — um den Elektromagneten des Schreibstiftes geleitet wird, in Folge dessen der letztere einen Eindruck auf das Papier macht.

Wenn der Berliner Telegraphist den Schlüssel wieder öffnet, fällt in Cöln zunächst der Anker des Relais wieder ab, in Folge dessen aber wird die Localbatterie L wieder geöffnet und der Schreibstift fällt ab. So lange aber in Berlin der Schlüssel geschlossen bleibt, eben so lange drückt der Cölner Schreibstift gegen sein Papier, und erzeugt, wenn letzteres in Bewegung ist, auf demselben eine Linie.

Ein rasch hinter einander folgendes Hämmern mit dem Schlüssel in Berlin, hat also ein Hämmern des Hebels H (Fig. 204) gegen i in Cöln zur Folge, und dieses dient hier als Signal für den Beginn des Telegraphirens. Der Cölner Telegraphist setzt sofort sein Räderwerk in Bewegung und fängt an, die auf Papierstreifen entstehende Depesche zu dechiffriren. Sobald das Signal für das Ende der Correspondenz angekommen ist, arretirt der Cölner Telegraphist sein Räderwerk und giebt sogleich durch Hämmern mit seinem Schlüssel das Signal, daß er antworten will. Nun löst der Berliner Telegraphist sein Räderwerk aus und empfängt die Meldung von Cöln, ob die Depesche verstanden ist oder nicht u. s. w.

Die vorstehend beschriebenen Morse'schen Vorrichtungen stehen alle, sammt dem Siemens-Halske'schen Zeiger-Apparate mit einem einzigen Leitungsdraht in Verbindung, und zwar vermittelst eines äußerst sinnreich construirten Wechselapparates, der bald die Morse'schen, bald die Siemens-Halske'schen Theile zwischen den Leitungsdraht und die Erdplatte einschaltet. (Schellen's Telegr. S. 242.)

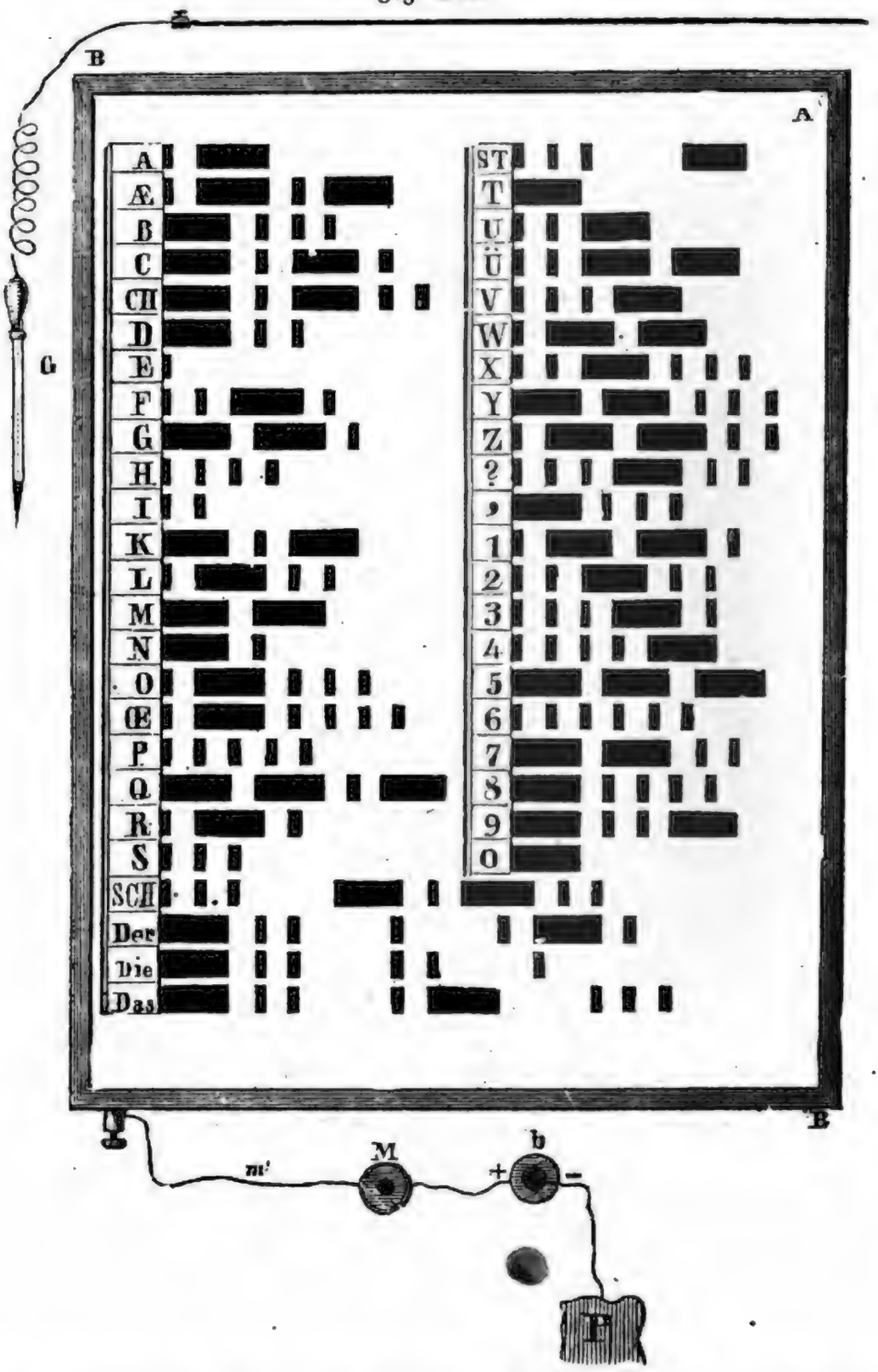
Morse's Schreibplatte. Der Umstand, daß die Aneignung der 226
manuellen Fertigkeit des Zeichengebens mittelst des in dem Vorigen beschriebenen Hebel-Schlüssels für viele Individuen mit großen Schwierigkeiten verbunden ist, veranlaßte schon Morse, denselben durch eine leichter zu handhabende Vorrichtung zu ersetzen und dadurch das Operiren mit seinem Telegraphen für jeden möglich zu machen.

Diese Vorrichtung besteht aus einer Tafel, welche aus Leitern und Nichtleitern der Elektricität zusammengesetzt ist, und aus einem Griffel. Die Fig. 212 (s. f. S.) versinnlicht diese Tafel und ihren Zusammenhang mit dem Morse'schen Schreibapparate (Fig. 203), der Batterie und dem Griffel.

Die schwarzen Rechtecke der Tafel A sind von Metall, die weißen Theile derselben von Elfenbein. Jene gehen durch das Elfenbein fest an-

liegend hindurch und ſind unterhalb der Elfenbeinplatte *A* an einer gemeinſamen Metallplatte *B B* angelöthet.

Fig. 212.



Dieſe Leitplatte *B* wird nun ſtatt des Hügels (Amboß) *q* im Morſe'ſchen Schlüſſel (Fig. 204) in die Drahtleitung gebracht, d. h. durch den Draht *m'* mit den Umwindungen des Elektromagneten *M* im Schreibap-

parat (Fig. 203) in Verbindung gesetzt. Der von der entfernten Station kommende Leitungsdraht *w*, welcher in Fig. 204 bei *E* des Schlüssels eingeschraubt ist, ist hier mittelst eines dünnen, spiralförmig gewundenen, gut isolirten Drahtes an den metallenen Kopf eines elfenbeinernen Griffels *G* befestigt, durch welchen, wie das Blei in einer Bleifeder, ein Kupferdraht hindurchgeht, der in eine rundlich zulaufende Spitze von Platina endigt.

Setzt man den leitenden Griffel *G* auf eines der Metallstücke der Platte *A*, so wird die Batterie *b* begreiflicher Weise ebenso geschlossen, als ob in Fig. 204 der Hebel *D* des Schlüssels auf den Metallamboß *q* niedergedrückt worden wäre; denn der Strom circulirt vom + Pole aus durch die Umwindungen des Elektromagneten *M* im Schreibapparate über *m'* nach der Leitplatte *B B* und den schwarzgezeichneten Metallstücken der Platte *A*, von wo er durch den Griffel *G* zu dem Leitungsdrahte *w* und der entfernten Station gelangt. Im Ruhezustande müssen daher, damit die Leitung nirgendwo unterbrochen sei und ein Continuum bilde, auf beiden Stationen die Griffel auf dem Metall der Platte *A* ruhen. Setzt man dagegen den Griffel auf eines der Elfenbeinstücke, so wird die Leitung unterbrochen, die Batterie geöffnet und der Strom abgeschnitten.

Sind daher die in der Elfenbeinplatte *A* eingelegten Metallstücke nach dem richtigen Verhältnisse des Morse'schen oder sonst gewählten Alphabetes bemessen und für jeden Buchstaben reihenweise eingesetzt, wie die schwarzen Felder in der Zeichnung zeigen, und führt man den Griffel in gerader Linie über eine Reihe solcher eingelegten Stückchen, so punktirt und strichelirt der Morse'sche Schreibstift (Fig. 203) auch die Zeichen genau nach demselben Verhältnisse; denn der Schluß und die Unterbrechung des Stromes erfolgt genau nach dem Längenverhältnisse der in die Platte *A* eingesetzten Stückchen und ihrer Zwischenräume. So lange nämlich der Griffel auf Metall steht, bleibt der Strom hergestellt und der Schreibstift in Fig. 203 angedrückt, so lange er über Elfenbein geht, bleibt der Strom unterbrochen. Daher bringt ein Gang des Griffels über ein kurzes Metallstück in den Schreibapparat einen Punkt, ein gleichmäßiger Gang über ein Elfenbeinstück eine Lücke hervor.

Die Zeichnung ist nach dem folgenden Alphabete angeordnet, welches abweichend vom Morse'schen nur Punkte und Striche von gleicher Länge enthält und sich erfahrungsgemäß als sehr zweckmäßig herausgestellt hat *):

---

*) Anmerk. Nach diesem Alphabete wird u. A. auch in Preußen, Hannover, auf der Hamburg-Curhavener Linie gearbeitet. — Prof. Meißner in Braunschweig ist unabhängig von Morse auf dieselbe Idee gekommen, den Morse'schen Schlüssel durch die Schreibplatte zu ersetzen und nach

a ·—	d—··	i··	o·—···	s···
ä ·—·—	e·	k—·—	ö·—···	t—
b—···	f··—·	l·—··	p·····	u··—
c—·—·	g——·	m——	q——·—	ü··——
ch———··	h····	n—·	r·—·	v···—

w·——	1·———·	6·····	?···—··
x··—···	2··———··	7——··	/—···
y—·—···	3···—·	8—·—···	,—···
z·———··	4····—	9—··—	
	5———	0——	

Es iſt von ſelbſt klar, daß während des Arbeitens der Griffel *G* auf der empfangenden Station dauernd auf dem Metall der Platte *A* oder *B* ſtehen muß. Auch hat ſich als Erfahrungsſache herausgeſtellt, daß man, um zu telegraphiren, mit dem Griffel ganz ruhig, langſam und gleichmäßig über die Zeichen fahre, dafür aber nicht zu viel Zeit verſtreichen laſſe, um den nächſtfolgenden Buchſtaben aufzuſuchen.

Um das Abgleiten von einer Buchſtabenreihe zu verhüten, überdeckte Morſe die Buchſtabenplatte *A* noch mit einer nicht leitenden Richtplatte, welche mit langen ſchmalen Oeffnungen verſehen iſt und ſo auf die Buchſtabenplatte *A* gelegt wird, daß jeder Buchſtabe genau unter einer ſolchen Oeffnung ſteht. Beim Telegraphiren fährt der Signaliſt dann mit dem Griffel durch dieſe Oeffnungen hindurch, wie als ob er an einem Lineal gerade Linien zöge.

In Amerika iſt dieſe Schreibplatte häufig im Gebrauche; in Deutſchland arbeitet man dagegen mit dem Schlüſſel.

227 **Der Doppelſtift-Apparat von E. Stöhrer.** Unter der geſchickten Hand Stöhrer's hat das amerikaniſche Syſtem eine Abänderung erhalten, die bereits in Sachſen und in Baiern mehrfach in Anwendung iſt. Stöhrer wendet unter Beibehaltung eines einzigen Leitungsdrahtes zwei Elektromagnete am Räderwerke mit zwei Schreibſtiften an, welche vermittelſt eines Relais nach der Willkür des entfernten Telegraphiſten unter Anwendung zweier Schlüſſel einzeln in Bewegung geſetzt werden können. Dieſer hat demnach über 4 Elementarzeichen zu verfügen, einen obern und einen untern Punkt, eine obere und eine

---

den von ihm angeſtellten Verſuchen iſt jeder Telegraphiſt binnen ganz kurzer Zeit im Stande, damit ſicher zu arbeiten und ohne Anſtrengung, ja mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit, ohne zu ermüden, die längſten Depeſchen zu befördern.

untere Linie, ähnlich wie bei Steinheil. Das Stöhrer'sche Alphabet ist folgendes:

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n
		—			—.	.—	.	.	..	.		
—	—.	.	.—	.			..		.	..	...	..

o	p	q	r	s	t	u	v	w	z	u. s. w.
...	—		..	.	.	—	.	..	.	
	.	.—.		.	.		—	.	..	

Da hierbei die einzelnen Buchstaben im Allgemeinen durch weniger Elementarzeichen repräsentirt werden, als bei dem Einstift-Apparate, so ist klar, daß die Geschwindigkeit, mit welcher der Stöhrer'sche Apparat arbeitet, weit größer ist, als bei dem Morse'schen. Siemens hat das Stöhrer'sche Relais bedeutend verbessert.

Die elektromagnetischen Wecker. Es stellte sich bei der fort- 228
schreitenden Entwickelung der Telegraphie sehr bald das Bedürfniß ein, neben den sichtbaren Signalen auch hörbare geben zu können, um dadurch auf den Beginn des Telegraphirens aufmerksam zu machen, überhaupt aber um dadurch von der Ferne her die mit der Aufsicht über eine Maschine oder eine Eisenbahnstrecke beauftragten Wärter auf ihren Posten rufen zu können.

Sömmering und Schilling construirten schon Wecker, um die Aufmerksamkeit des Telegraphisten zu erregen; sie beruhten auf der Zersetzung des Wassers und erfüllten ihren Zweck nur zum kleinsten Theile.

Erst Wheatstone (Dingl. Journ. Bd. 72. S. 215.) löste diese Aufgabe vollständig. Anfänglich ließ er das hebelförmig verlängerte Ende des Ankers eines Elektromagneten direct auf eine Glocke schlagen; aber die anziehende Kraft des Magneten war bei bedeutendern Entfernungen nicht stark genug, um einen etwas schweren Hammer mit der erforderlichen Kraft gegen die Glocke zu führen. Er verwandte daher die elektromagnetische Anziehung nur dazu, um einen leichten, im Ruhestande das Räderwerk eines gewöhnlichen Weckers oder Uhrschlagwerkes arretirenden Anker anzuziehen, durch diese Bewegung die Hemmung auszulösen und das Schlagwerk ablaufen zu lassen.

Man kann alle gegenwärtig in Anwendung kommende Wecker, Alarms, Glockenapparate, Signalgeläute oder wie sie sonst heißen mögen, in zwei Klassen bringen: Wecker mit und ohne Uhrwerk.

Die ersteren sind die gewöhnlichern und zerfallen wieder in zwei Klassen.

In dem einen Falle hat das Uhrwerk der Glocke einen auf dem Anker des Elektromagneten sitzenden Sperrer, der das Räderwerk so lange arretirt, als der Elektromagnet nicht vom Strome umkreiset ist. So oft dann der Telegraphist die Batterie schließt, wird auf der Glockenstation

der Anker angezogen, dadurch die Hemmung ausgelöst, das Uhrwerk in Bewegung gesetzt und die Glocke zum Ertönen gebracht. Unterbricht der Telegraphist den Strom, so greift der abfallende Anker wieder in die Zähne des Räderwerkes ein und setzt dasselbe in Stillstand. Dahin gehört auch die Einrichtung, wobei im Ruhezustande der Anker den Wecker arretirt, beim ersten Anziehen aber das Uhrwerk frei macht und es vollständig ablaufen läßt. Bei dieser Vorkehrung ist nach jedem Wecken ein Aufziehen des Werkes nöthig.

In dem andern Falle kann der Telegraphist immer nur eine ganz bestimmte Anzahl von Einzelschlägen hervorrufen. Dann enthält eines der Räder auf seinem Umfange ebenso viele Daumen, als die Glocke jedesmal Schläge thun soll. Die Daumen wirken auf den hebelförmig verlängerten Klöppel der Glocke; bei einem Umlaufe des Rades wird daher der Klöppel so oftmal niedergedrückt, als Daumen vorhanden sind. Das Werk kommt dadurch zum Stillstande, daß der letzte Daume einen Vorsprung hat, mit dem er gegen den nicht angezogenen Anker des Elektromagneten anhält. Wird der Anker angezogen, so wird dieser Vorsprung frei und das Werk bleibt so lange in Bewegung, bis nach vollendetem Umlaufe des Daumenrades der Vorsprung des letzten Daumens sich gegen den mittlerweile wieder frei gewordenen Anker anlegt.

Von dieser Art sind die Signalglocken, welche man hier und da auf den Wärterhäuschen einer Eisenbahnlinie antrifft und die in der Regel bei jeder Auslösung durch den Strom 12 oder 24 Glockenschläge geben als Signal, daß der Zug von der benachbarten Station in der einen oder der andern Richtung abgefahren ist. Durch einen einfachen Druck auf einen Knopf oder durch Umlegen eines Hebels schließt und öffnet ein Beamter die Batterie, sobald der Zug sich in Bewegung setzt.

Die Wecker ohne Uhrwerk zerfallen ebenfalls in zwei Klassen. In dem einen Falle wirkt der Anker des Elektromagneten direct auf den Klöppel der Glocke, und es muß daher der Telegraphist für jeden Glockenschlag seine Batterie schließen und wieder öffnen. Sie sind nicht mehr im Gebrauche, weil für größere Entfernungen eine sehr starke Batterie dazu erforderlich ist, um den Elektromagneten bis zu dem Grade zu magnetisiren, daß er durch Anziehung seines Ankers kräftige und weit hörbare Schläge hervorbringen kann.

In dem andern Falle hat der Telegraphist nur ein einzig Mal die Batterie zu schließen, um die entfernte Glocke in ein fortdauerndes Geläute zu versetzen, das so lange anhält, als die Batterie in Wirksamkeit bleibt. Man kann diese Art Geläute, die in physikalischer und mechanischer Beziehung die interessantesten sind, die continuirlichen Wecker oder Wecker mit Selbstunterbrechung nennen. So viel bekannt, hat

gegenwärtig nur Siemens-Halske's Telegraph und deren Ausschalter eine derartige Vorrichtung.

Bakewell's elektro-chemischer Telegraph. Die Londoner illu- 229
strirte Zeitung vom 23. November 1850 theilt eine von Bakewell neu erfundene Anwendung der galvanischen Elektricität auf die Telegraphie mit, welche des einfachen Principes wegen auf den ersten Augenblick die größte Aufmerksamkeit auf sich zieht, näher ins Auge gefaßt, aber für die practische Anwendung nicht unerhebliche Schwierigkeiten mit sich führen dürfte.

Der beschriebene Apparat (Telegraph) besteht aus einer metallenen Walze, welche durch ein Uhrwerk regelmäßig und sehr rasch herumgedreht wird, am Ende dieser Walze sitzt auf derselben Achse ein Zahnrad, welches in ein davor liegendes zweites Zahnrad eingreift. Dieses zweite Zahnrad sitzt auf einer Schraubenspindel, welche parallel neben der Walze in Lagern liegt, sich also mit der Walze zugleich, jedoch nach entgegengesetzter Richtung, bewegt.

Auf der Schraubenspindel bewegt sich eine lose angeklemmte gespaltene Schraubenmutter, die einen isolirten Arm, an der Spitze mit einer Klemme für einen stählernen Griffel versehen, trägt. Dieser Griffel liegt mit seiner Spitze auf der Walze und beschreibt bei der Bewegung durch das Uhrwerk eine enge Spirallinie auf derselben. Von dem positiven Pol einer galvanischen Batterie führt ein Leitungsdraht nach dem metallenen Griffel, während einerseits von der Metallwalze eine Leitungsfeder mit dem Leitungsdraht nach der entfernten Station verbunden ist, andererseits der negative Pol der Batterie an die Erdplatte führt Ein Bogen Papier angefeuchtet mit einer Auflösung von blausaurem Eisenkali und versetzt mit Salzsäure, wird um die metallene Walze gelegt, um den Apparat zur Aufnahme einer Depesche vorzubereiten. Auf der correspondirenden Station befindet sich eine ganz gleiche Vorrichtung, nur wird auf dieser Station der Bogen Papier, ehe er auf die dortige Walze gelegt wird, mit der zu telegraphirenden Depesche mit einer isolirenden Tinte, z. B. mit Firniß ꝛc. in nicht zu kleinen Buchstaben beschrieben und mit der Auflösung des oben bezeichneten Blutlaugensalzes gehörig befeuchtet.

Läßt man nun auf beiden Stationen die gleichmäßig gehenden Uhrwerke die Walzen bewegen, so strömt die Elektricität auf der ersten Station jedes Mal, wenn der Griffel auf der zweiten Station keinen Schriftzug trifft, von dem positiven Pol aus dem stählernen Griffel durch das Papier in die Walze u. s. w., erzeugt durch die Zersetzung des Eisens Berlinerblau, daher die obenerwähnte Spirallinie tief blau erscheint. So oft nun auf der zweiten Station der leitende Griffel einen isolirenden

Schriftzug trifft, wird der galvanische Strom unterbrochen und die blaue Spirallinie auf der ersten Station wird in demselben Verhältniß gleichfalls unterbrochen. Es bilden sich demnach auf der Empfangsstation die Schriftzüge weiß auf blauem Grunde.

Die Umständlichkeit des beschriebenen Verfahrens läßt, wie leicht einzusehen, noch sehr viel zu wünschen übrig, ehe Bakewell's Erfindung den Morse'schen Apparat zu ersetzen im Stande seyn wird. Eine ähnliche, unter dem Namen Copier-Apparat bekannte telegraphische Vorrichtung von Bain, hat sich bereits als unpractisch bewiesen.

230 **Die Batterie.** Die wesentlichste Anforderung, welche an eine für telegraphische Zwecke bestimmte Batterie gestellt werden muß, besteht darin, daß der Strom derselben bei einer hinreichend großen Intensität auf längere Zeit in seiner Wirkung constant bleibe. Es ist sehr leicht, Batterien zusammenzusetzen, deren Strom lange constant bleibt; aber diese Ströme sind in der Regel zu schwach, um die vielen Widerstände, welche die Drahtleitung, die Erde, die feinen Umwindungsdrähte der Elektromagnete, die Polarisation u. s. w. bieten, zu überwinden (vergl. II. Abschnitt S. 278.); die bekannten Batterien aber, welche stärkere Ströme liefern, erschöpfen sich gewöhnlich bald und verlangen eine häufige Erneuerung der Flüssigkeiten. Die Aufgabe, eine der obigen Anforderung entsprechende und für den telegraphischen Betriebsgang geeignete Batterie zu construiren, ist daher trotz der vielfachsten Bemühungen noch nicht gelöst, und es sind gegenwärtig auf den verschiedenen Telegraphen-Linien die mannichfaltigsten Combinationen in Anwendung.

Auf der Linie Berlin-Cöln-Verviers z. B. sind ganz gewöhnliche Daniell'sche Batterien im Gebrauch, die jeden Abend auseinandergenommen und jeden Morgen neu zusammengesetzt werden müssen; in Amerika und zum Theil auch in Deutschland ist die Grove'sche, in Oesterreich die Smee'sche Batterie im Gebrauch. Ihr Strom ist bei weitem nicht so stark, als der aus Daniell'schen oder gar Grove'schen Zellen entwickelte ist, und sie eignen sich daher nur für die mit Strömen von geringer Intensität zu regierenden Nadeltelegraphen.

In England wird am meisten die Sandbatterie angewandt, die aus Zink, Kupfer und Sand besteht. Der Sand wird zwischen die Metallplatten in Tröge oder Fässer eingestampft und mit verdünnter Säure oder Salmiakauflösung angefeuchtet. Von Zeit zu Zeit wird der Sand begossen und alle 5 — 6 Wochen, ja auf einigen Linien 6 — 8 Monate die ganze Batterie auseinandergenommen und gereinigt. (Vergl. II. Abschn. S. 279.)

Gintl in Wien hat eine für transportable Telegraphen bestimmte

Batterie zusammengesetzt, in welcher der flüssige Leiter durch eine sehr hygroskopische Substanz ersetzt ist und aus 30 Elementen von 4 Quadratzoll Oberfläche besteht. Der Strom derselben bleibt beinahe 3 Wochen ungeschwächt, und ist kräftig genug, um auf 30 — 40 Meilen Entfernung die Nadelapparate zu afficiren.

Stöhrer giebt an (Pogg. Annal. Bd. 77, S. 486), daß man durch Zusammensetzung von Kohle mit nicht amalgamirtem Zink und unter Anwendung einer concentrirten Alaunauflösung eine Batterie von sehr constanter Wirkung erhalten könne. Eine derartige, aus 9 Elementen bestehende Combination hatte zwei Jahre lang zur Telegraphie gedient und besaß doch noch beinahe ihre ganze ursprüngliche Stärke. Sie wird in einem verschlossenen Schrank aufbewahrt und höchstens alle Monate einmal begossen.

Der einfachste galvanische Erregungsapparat wurde im Jahre 1838 an dem Göttinger Telegraphen von Gauß (Schuhmacher's Jahrb. für 1839, S. 173.) hergestellt, indem er das eine Ende des Leitungsdrahtes mit einer Kupferplatte, das andere Ende mit einer Zinkplatte verband und beide Platten in die feuchte Erde eingrub. Es entstand auf diese Weise ein einfaches Volta'sches Element, in welchem eine 3000 Fuß dicke feuchte Erdschichte zwischen den Metallplatten die Stelle einer angesäuerten Pappscheibe versah. — Bain (Dingler's Journ. Bd. 90, S. 106.) erzeugte durch eine gleiche Vorkehrung einen lange andauernden und constanten Strom und er unterhielt damit seine galvanische Uhr auf lange Zeit in regelmäßigem Gange. Es ist indessen schon im Abschn. II. S. 280 bemerkt worden, und die Erfahrungen der neuern Zeit bestätigen es, daß der Strom aus diesen Combinationen, welche man Erdbatterien genannt hat, sehr schwach und jedenfalls zu schwach ist, um für die Telegraphie mit Erfolg verwandt werden zu können.

Die ausgedehnteste Anwendung von der Erdbatterie hat Steinheil auf der von ihm längs der Eisenbahn von München nach Nanhofen im Jahre 1846 errichteten 108,000 Fuß langen Linie gemacht. Die Metallplatte in München ist aus Kupferblech von 120 Quadratfuß Fläche, in Nanhofen ein Zinkblech von derselben Größe; beide Platten sind bis in das Horizontalwasser versenkt und durch einen auf Stangen durch die Luft geleiteten Kupferdraht verbunden. Der durch diese Einrichtung erzeugte Strom ist hinreichend stark, um die zur Controle der Bahn und der Fahrten nöthigen Zeichen hervorzubringen, indessen sind die Steinheil'schen Zeichengeber höchst einfach und erfordern zu ihrer Bewegung nur eine geringe Kraft. Zum Betriebe eines Morse'schen oder eines Zeiger-Telegraphen fehlt es der Erdbatterie durchaus an Kraft.

Endlich wiederholen wir, was schon oben im Vorbeigehen erwähnt

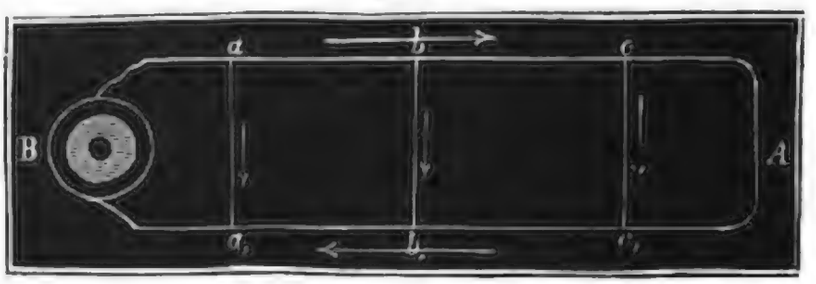
wurde, daß zuerst Gauß und nach ihm Steinheil die Inductionsströme zum Zeichengeben angewandt haben, freilich nur für kurze Strecken. Die Inductorrolle von Gauß bestand aus 7000 Fuß Kupferdraht, der Magnet von Steinheil aus 17 Hufeisen von 60 Pfd. Gewicht und etwa 300 Pfd. Tragkraft, die Drahtspiralen des Letztern hatten zusammen 1500 Umwindungen. Einen weit stärkeren magneto-elektrischen Apparat construirte Dujardin in Lille (Lond. Journ. of arts. Juli 1848. p. 402.); derselbe bestand aus drei hufeisenförmigen Magneten, jeder zu 7 Lamellen und 6 Drahtrollen mit 23 Kilogr. Kupferdraht, und lieferte einen Strom von hinreichender Stärke, um einen dem Morse'schen ähnlichen Telegraphen zu regieren. Am vollendetsten sind die magneto-elektrischen Maschinen, die gegenwärtig auf den sächsischen und baierischen Eisenbahn-Telegraphenlinien zum Betriebe der Stöhrer'schen Zeigerapparate angewandt werden. Schon 1846 versuchte Stöhrer mit einem kleinen, aus 5 Lamellen zusammengesetzten Magnet von nur 5 Zoll Länge den Cooke'schen Nadeltelegraphen in Bewegung zu setzen, und fand, daß der Strom der kleinen, aber kräftigen Maschine selbst bei aufliegendem Anker stark genug war, um auf 8 Meilen zu telegraphiren.

Seit dem September des Jahres 1847 sind nun die Stöhrer'schen Maschinen fortwährend im Gebrauch, und fortgesetzte Bemühungen nach dieser Richtung hin lassen erwarten, daß über lang oder kurz die eben so lästigen als kostspieligen hydrogalvanischen Batterien durch die magneto-elektrischen Maschinen aus den telegraphischen Bureaus werden verdrängt werden.

231 **Die Leitung.** Eine gute Leitung ist die erste Bedingung für die Brauchbarkeit einer telegraphischen Linie; die meisten Störungen, die gegenwärtig noch auf vielen, besonders den längern Linien in den telegraphischen Apparaten so häufig eintreten, fallen den Mängeln der Leitung zur Last, die hauptsächlich darin bestehen, daß die einzelnen Theile derselben nicht vollständig von einander isolirt sind und zu Nebenschließungen Veranlassung geben.

Bezeichnen z. B. *B* und *A* in der Fig. 213 zwei durch die Drähte *a b c*, *a' b' c'* verbundene Stationen, und wird in *B* eine Batterie in

Fig. 213.



dieſe Drahleitung eingeſchaltet, um bei *A* telegraphiſche Zeichen hervorzubringen, ſo wird der Strom, wenn die Drahttheile *a*, *a'* — *b*, *b'* — *c*, *c'* mit einander in leitender Verbindung ſtehen, keineswegs in ſeiner ganzen Stärke *A* erreichen, ſeine Intenſität nimmt vielmehr mit der Entfernung von *B* immer ab, und kann unter Umſtänden, wenn die Nebenſchließungen *aa'*, *bb' cc'* gute Leiter ſind, in *A* ſogar Null ſein. Aus dieſem Grunde, da auch bei der ſorgfältigſten Ausführung der Drahtleitung nicht alle Nebenſchließungen zu vermeiden ſind, vertheilt man die Batterie *B*, welche zum Betriebe der auf zwei benachbarten Stationen aufgeſtellten Apparate erforderlich iſt, in zwei Hälften, und ſtellt dieſe auf jeder Station ſo auf, daß ſie ihren Strom in gleicher Richtung durch die Leitung ſenden, und ſich alſo gegenſeitig unterſtützen.

Eine möglichſt vollſtändige Iſolirung der Drahtleitung in allen ihren Theilen iſt daher das erſte Erforderniß bei der Anlage einer Telegraphenlinie. Die große Schwierigkeit, viele nahe neben einander laufende Drähte gehörig zu iſoliren, machte ſchon allein die früheſten telegraphiſchen Verſuche von Sömmering, Ampere, Vorßelmann de Heer, Cooke und Wheatſtone u. dgl. für längere Strecken unausführbar. Morſe, Cooke u. A. umwickelten die Drähte einzeln mit Baumwolle oder Kautſchuck, firnißten dieſe Hülle und ſpannten ſie in bleierne oder eiſerne Röhren ſo auf, daß ſie ſich nicht berührten, worauf dann die Röhren mit Harz ausgegoſſen wurden. Jakobi ſchloß die Drähte in gläſerne Röhren ein, die einzeln mit Kautſchuck verbunden waren und 21 Zoll tief in die Erde gelegt wurden. Die Drähte ſelbſt waren einzeln mit Zwirn, darauf mit einer aus Harz, Wachs und Talg beſtehenden Miſchung überzogen, dann nochmals überſponnen und abermals mit dieſer Miſchung überzogen. Dennoch zeigte ſich hierbei eine ſtarke Nebenſchließung.

Luft- oder Stangenleitung. Seit Steinheil's Entdeckung der 232
Erdleitung wird bei den meiſten im Betrieb befindlichen Telegraphen nur ein einziger Draht als Leitung angewandt, und dieſer

a) entweder auf Stangen durch die Luft ausgeſpannt, oder

b) gehörig iſolirt unter der Erde weggeleitet.

Weber legte die erſte aus zwei neben einander laufenden nicht überzogenen Drähten beſtehende Leitung auf eine Strecke von 6000 Fuß durch die Luft; 4 Jahre ſpäter ſpannte Steinheil ſeine zwei Drahtzüge auf eine Strecke von 15250 Fuß hoch durch die Luft aus, indem er ſie innerhalb der Stadt München in Abſtänden von 3 und 10 Fuß befeſtigte, über Strecken aber, wo keine hohen Gebäude vorhanden waren, durch 40 — 58 Fuß hohe Floßbäume unterſtützte. An den Auflegepunkten war nur Filz untergelegt, die Iſolation alſo höchſt unvollkommen.

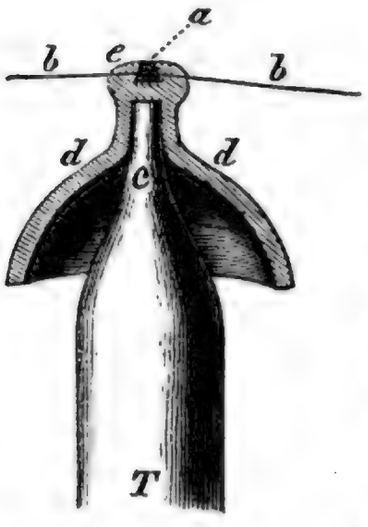
Gegenwärtig, wo die Erde einen Theil der Leitung ausmacht, werden in Entfernungen von 100 — 120 Fuß, 10 — 15 Fuß hohe, gegen 4 Zoll dicke Stangen von trockenem Fichten- oder Lerchenholz fest in die Erde eingegraben. Der Draht wird an der Stelle, wo er durch den oberen Theil der Stange hindurchgeht, mit einer isolirenden Platte von Gutta-Percha umwickelt, durch einen hölzernen Pflock festgekeilt und durch ein kleines Zinkdach gegen den Regen geschützt. Die Erfahrung hat jedoch nachgewiesen, daß auch diese Befestigungsweise nur mangelhaft isolirt und daß insbesondere bei anhaltend feuchter Witterung eine Ueberleitung des Stromes von den Stützpunkten an den Stangen herab zu dem Erdboden hin und umgekehrt stattfindet. Da gegen 240 solcher Stangen auf eine Meile kommen, so ist der Stromverlust, den eine so eingerichtete Leitung verursacht, von Station zu Station sehr bedeutend.

Breguet und Gounelle versahen jede Stange mit einer Rolle von Biskuit-Porcellan, auf der die Drähte ruhten und durch einen Schirmdach geschützt waren. Drähte und Stangen waren außerdem mit Marineleim überzogen.

Eine vorzüglich gute und jetzt durchgehends angewandte Isolir-Methode für Drahtleitungen auf Stangen ist folgende:

Die Tragstangen T (Figur 214) sind oben auf einem $1\frac{1}{2}$ Zoll starken, $6'' - 8''$ langen Zapfen c abgespitzt und eine Porcellanglocke $d\,d$ aufgekittet. Oben im Porcellankopfe ist ein Einschnitt e, in welchen der Draht $b\,b$ gelegt und mit etwas Blei in der Mitte der Erweiterung a festgegossen wird. Die innere Fläche der Glocke bildet hierbei eine stets trocken bleibende und daher isolirende Schichte zwischen der Stange T und dem Drahte $b\,b$. Auch bei dem ungünstigsten Wetter haben sich bei diesen Leitungen die Nebenschließungen an sehr empfindlichen Halske'schen Multiplicatoren häufig gleich Null ergeben.

Fig. 214.



Bei der im Winter 1849 von Siemens ausgeführten, 42 Meilen langen Leitung zwischen Eisenach und Frankfurt über Kassel wurden oben geschlossene Porcellantrichter auf eiserne Stangen so aufgekittet, daß die Glocke nach unten gerichtet war. Die eiserne Stange wurde an das obere Ende der hölzernen Pfosten geschraubt und der Draht an der äußeren Fläche des Trichters, durch Umwinden um den oberen dünnen Theil desselben, befestigt. Auch hier war die Isolation sehr vollständig.

Die Kosten einer solchen Leitung aus Kupfer kamen der preußischen Regierung pro Meile à 24,000 Fuß zu stehen:

An Draht 318½ Thlr., Stangen 110 Thlr., Eisenstützen für die Porcellanköpfe 45 Thlr., Porcellanköpfe 35 Thlr., Eingraben der Stangen 20 Thlr., zusammen **528½ Thlr.**

Die Kosten einer Stangenleitung aus Eisendraht stellen sich, nach Kramer, pro Meile à 24,000 Fuß auf 250 Rthlr.

Unterirdische oder Gutta-Percha-Leitung. — Die vielen Mängel, an denen eine gut isolirte Stangenleitung noch immer leidet und der Umstand, daß, je vollständiger die Isolation derselben ist, um so störender die Einflüsse der atmosphärischen Elektricität auftreten, veranlaßten die Techniker vielfach, die bei Seite gelegten Versuche mit unterirdischen Leitungen wieder aufzunehmen. Im Herbste 1847 vollendete W. Siemens (dessen Abhandl. über telegr. Leit. in Poggendorff's Annal., Bd. 79, S. 481) eine Versuchslinie von 1 Meile Länge, auf welcher der Kupferdraht in der gegenwärtig sehr bedeutenden Fabrik von Fonrobert und Pruckner in Berlin mit einer Hülle von gereinigter Gutta-Percha umpreßt war und 2 Fuß tief unter der Erde fortgeleitet wurde. Da es sich zeigte, daß die reine und wasserfreie Gutta-Percha in der feuchten Erde sich nach und nach an ihrer Oberfläche in ein Hydrat umwandelte, so wurde bei sämmtlich später angefertigten Drähten vulcanisirte (mit Schwefel vermischte) Gutta-Percha in Anwendung gebracht und zugleich die Umpressung mittelst einer durch Siemens und Halske angefertigten Maschine auf eine sehr vervollkommnete Weise (Dingler's Journ. Bd. 115, S. 260) bewerkstelligt. 233

Die fertigen Drähte werden zuerst durch die Arbeiter in Bezug auf Isolirung geprüft und unterliegen nach Ausbesserung der schadhaften Stellen einer nochmaligen strengen Prüfung durch sehr empfindliche Galvanometer. Ein Fehler in der Isolirung, welcher eine Nebenschließung bewirkt, die auf die Meile Draht ¼ Procent, also nur $\frac{1}{400}$ des ganzen Stromes beträgt, wird von der preußischen Regierung nicht mehr acceptirt. Gegenwärtig darf bei neu angelegten Leitungen der Nebenstrom bei am anderen Ende geöffneter, 10 Meilen langer Leitung nicht über 2½ Procent des bei geschlossener Kette vorhandenen Stromes betragen.

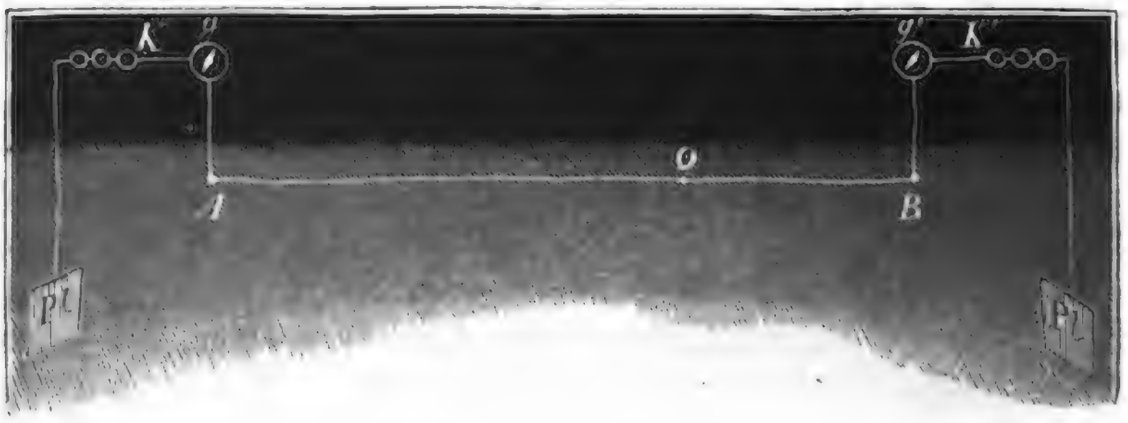
Das Einlegen des Drahtes geschieht auf eine einfache Weise der Art, daß man ihn in einen, am Rande des Eisenbahn-Plateaus hinlaufenden, zwei Fuß tiefen Graben lose hineinlegt, mit einer Lage Sand bedeckt und bevor noch der Graben zugeworfen wird, in Bezug auf Isolation einer Probe unterworfen wird. Die benachbarten Enden zweier Drahtadern werden blank geschabt, zusammengewunden, mit Zinn an einander gelöthet

und mit dünnen Platten der Gutta-Percha-Mischung über Kohlenfeuer fest überzogen.

Für das Auffinden eines einzelnen zwischen zwei Stationen auf irgend eine Weise entstandenen Fehlers in der Leitung hat Siemens in der oben angeführten Abhandlung zwei Rechnungsmethoden angegeben, nach denen sich die Fehlerstelle ziemlich genau ergeben muß. Sind mehrere schadhafte Stellen vorhanden, was sich ebenfalls durch diese Rechnung ergiebt, so erreicht man dieselben durch fortgesetztes Halbiren des Leitungsdrahtes und Prüfung der einzelnen Hälften in Bezug auf ihre Isolation. Hat man auf diese Weise den Fehler innerhalb der Gränze von einigen Ruthen eingeschlossen, so bleibt nichts übrig, als den Draht bloß zu legen, wobei sich der Fehler ergeben muß.

Es seien A und B Fig. 215 die Endpunkte der zu untersuchenden Drahtleitung, g und K ein Galvanometer, und eine Säule, welche zwischen

Fig. 215.



A und der entsprechenden Erdplatte Pl eingeschaltet ist; eben so g' und K' ein Galvanometer und eine Säule zwischen B und Pl eingeschaltet.

Die beschädigte Stelle sei bei O. Ist nun der Leitungswiderstand des Drahtes von A bis O gleich x, von O bis B gleich y; bezeichnet ferner m den reducirten Widerstand der Drahtleitung zwischen A und Pl sammt dem Widerstand des Galvanometers g, der Säule K und dem Widerstand der diese Platte umgebenden feuchten Schichten bis zur unendlichen Ausbreitung des Stromes, und endlich mit n die Summe der entsprechenden Widerstände an der anderen Seite der Drahtleitung, so ist die Stromstärke, welche in dem Leitungsdraht kreisen müßte, wenn bei O keine Beschädigung stattfindet und die Leitung nirgends unterbrochen ist,

$$s = \frac{2\,e}{x + y + m + n},$$

wenn e die elektromotorische Kraft einer Säule bezeichnet.

Unterbricht man die Leitung bei B, so wird man bei A gar keine Ab-

lenkung des Galvanometers beobachten, wenn zwischen A und B keine Beschädigung vorhanden ist; ist aber eine solche vorhanden, so zeigt sich eine Ablenkung, aus der sich die Stromstärke

$$s' = \frac{e}{m + x + z}$$

ergiebt, wenn z den Widerstand des Ueberganges von der bloßgelegten Stelle des Drahtes zur Erde oder den Widerstand der Nebenschließung bezeichnet.

Eben so ist

$$s'' = \frac{e}{n + y + z},$$

die durch das Galvanometer g' ermittelte Stromstärke, wenn die Leitung bei O unterbrochen ist.

Aus diesen drei Gleichungen e und z eliminirt, giebt

$$\begin{aligned} & s \,.\, s'' \,(x + y + m + n) - 2\, s'\, s''\, (m + x) \\ = \;& s\, s'\, (x + y + m + n) - 2\, s'\, s''\, (n + y), \end{aligned}$$

woraus

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{2\, s'\, s'' - s\, s' + s\, s''}{2\, s'\, s'' - s\, s'' + s\, s'}.$$

Da die Summe $x + y$ gleich der Länge der Leitung, mithin bekannt ist, so ergiebt sich aus dieser Gleichung sofort die Lage der Beschädigung.

Genauere Resultate giebt ein anderer Weg der Berechnung der Lage einer Beschädigung, bei welchem die Polarisation weit weniger störend auftritt und welche unabhängig ist von der elektromotorischen Kraft der Säule.

Es sei die Bedeutung der Buchstaben x, y, m, n und z die oben angegebene. Die Säule K' sei durch einen Draht von gleichem Widerstande ersetzt, so werden die beiden Galvanometer nicht gleiche Stromstärke anzeigen, wenn sich bei O eine Verletzung befindet, weil durch g' nur ein Theil des durch g gehenden Stromes hindurch geht. Es sei nun s die bei A, s' die bei B gemessene Stromstärke, so ist

$$s' = \frac{z}{y + n + z} \cdot s,$$

woraus

$$\frac{s}{s'} = \frac{y + n + z}{z}$$

oder

$$\frac{s - s'}{s'} = \frac{y + n}{z} \quad \ldots \quad 1)$$

Ist nun die Säule bei K' angebracht und K durch einen Draht von

gleichem Widerstande ersetzt, so werden sich bei B und A die Stromstärken σ und σ' ergeben und man hat dem oberen entsprechend

$$\frac{\sigma - \sigma'}{\sigma'} = \frac{x + m}{z} \quad \ldots \quad 2)$$

die Gleichung 2) durch die Gleichung 1) dividirt, giebt

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{(\sigma - \sigma')\, s'}{(s - s')\, \sigma'},$$

wodurch die Lage der Beschädigung bestimmt ist.

Hinsichtlich der mit m und n bezeichneten Constanten ist noch zu erwähnen, daß dieselben bei der hier in Betracht kommenden annähernden Bestimmung der Lage der Beschädigung einer ausgedehnten telegraphischen Leitung ohne große Beeinträchtigung der Genauigkeit ganz vernachlässigt werden können, wenn man große im freien Wasser liegende Platten, Säulen und Galvanometer von geringem Widerstande anwendet. Bei Erdplatten, welche im feuchten Erdboden liegen, ist der Widerstand des Ueberganges der Elektricität von den Platten zum unbegränzten feuchten Leiter, als welche die Erde auftritt, natürlich unverhältnißmäßig viel größer, doch kann man alsdann, wenn man an beiden Enden gleiche und unter gleichen Verhältnissen befindliche Platten hat, für jede ohne Nachtheil den halben gemessenen Erdwiderstand annehmen.

Die Kosten der Gutta-Percha-Umpressung sind gegenwärtig noch bedeutend und machen zur Zeit die unterirdische Leitung weit kostspieliger, als eine gleich lange Stangenleitung sein würde. Die Kupferdrähte kosten 48½ Rthlr. pro Centner, 100 Fuß preuß. dürfen nicht weniger als 65 Loth wiegen. Hiernach wiegt der Draht für 1 Meile preuß. gegen 4½ Centner. Die Gutta-Percha-Hülle wiegt eben so viel als der Draht, das Eingraben der Drähte kostet durchschnittlich 200 Thlr. pro Meile, so daß die Meile der unterirdischen Leitung zu stehen kommt: an Draht 4½ Centner à 49 Rthlr. = 220 Thlr., an Gutta-Percha-Ueberzug 720 Rthlr., an Arbeitslohn 200 Rthlr., zusammen **1140 Thlr.**

234 **Die Erdleitung.** Der Antheil, den die bei telegraphischen Linien einen Theil der Leitung ausmachende Erdschichte an der gesammten Leitung und dem dadurch entstehenden Widerstande hat, ist bis jetzt noch nicht genügend ermittelt worden. Die Versuche, welche Breguet (Compt. rend. XXI. 760) auf der aus zwei Kupferdrähten, einem Eisendrahte und Erdplatten bestehenden Linie zwischen Paris und Rouen angestellt hat und die so angeordnet waren, daß der Strom derselben Batterie bald die beiden Kupferdrähte, bald den einen Kupferdraht und die Erde, bald auch den Eisendraht und die Erde durchlaufen mußte, ergaben das Resultat,

daß der Widerstand der Erde so gering sei, daß er gegen den des Leitungsdrahtes fast ganz vernachlässigt werden könne und daß demzufolge die Intensität eines aus derselben Batterie erzeugten Stromes beinahe doppelt so groß sei, wenn er zur Hälfte durch den Draht, zur Hälfte durch die Erde geleitet wird, als wenn er zwei Drähte durchlaufen muß. Es war u. a. die Intensität des Stromes, geleitet durch einen Kupferdraht und die Erde zu Paris 56,8, geleitet durch zwei Kupferdrähte nur 29,1; zu Rouen betrug die Intensität desselben Stromes, geleitet durch einen Kupferdraht und die Erde 35,1, geleitet durch zwei Kupferdrähte 17,8. Ein ähnliches Ergebniß stellte sich bei den übrigen 27 Versuchen heraus.

Mateucci (Compt. rend. XIX. 845) stellte bei Anwesenheit der italienischen Naturforscher in Mailand Versuche über denselben Gegenstand an; er leitete nach einander den Strom aus derselben Batterie durch 12,500 Meter Draht in der Luft, dann durch 12,500 Meter Draht in der Luft und 12,500 Meter Erde, endlich durch 25,000 Meter Draht in der Luft und fand das Intensitäts-Verhältniß 30 : 27 : 17. Hiernach ist die Intensität eines durch die Erde geleiteten Stromes zwar bedeutend stärker, als wenn die ganze Leitung aus Draht besteht, allein sie ist keineswegs das Doppelte und der Leitungswiderstand der Erde ist gegen den im Drahte nicht als verschwindend anzusehen.

Es ist nur zu bedauern, daß weder die Versuche von Breguet noch von Mateucci mit derjenigen Sorgfalt und Umsicht angestellt worden sind, welche eine solche Untersuchung erfordert; die Richtigkeit der vorstehenden Resultate ist auch mehrfach angefochten worden und sie berechtigen nur zu dem summarischen Schlusse, daß die Intensität des Stromes bei Anwendung der Erdleitung viel größer ist, als bei einer doppelten Drahtleitung, oder daß der Widerstand des feuchten Erdreichs von unbekanntem Querschnitte viel kleiner ist, als der eines gleich langen Kupferdrahtes von der bei den Telegraphenlinien üblichen Dicke.

Baumgartner (Pogg. Bd. 80, S. 374 und S. 381) hat es versucht, durch die Benutzung der zwischen Wien und Gänserndorf (14,800 Klft.) vorhandenen doppelten Drahtleitung die Größe des Leitungswiderstandes der Erde numerisch zu bestimmen. Er schaltete in die Drahtleitung, welche mit dem einen Ende in Wien, mit dem anderen in Gänserndorf in die Erde versenkt ist, ein kleines Zink-Platin-Element und eine sehr empfindliche Sinusbousole ein und beobachtete unter den bekannten Vorsichtsmaßregeln die Größe des Ablenkungswinkels. Hierauf ließ er sowohl in Wien, als in Gänserndorf die Verbindung des Drahtes mit den Erdplatten aufheben und seine Enden mit dem zweiten Drahte verbinden, und beobachtete auch in diesem Falle, wo der Strom durch zwei Drähte

geleitet wurde, den Ablenkungswinkel. Bei drei hinter einander angestellten Versuchen ergaben sich folgende Ablenkungen:

	1. Versuch.	2. Versuch.	3. Versuch.	Durchschnitt.
1) Als der Strom im Drahte hin- und herging	20°	22°	19½°	20° 30′
2) Als der Strom im Drahte hin- und durch die Erde zurück ging.	33°	32½°	31°	32° 10′

Aus dieser Beobachtung ergiebt sich durch eine leichte Rechnung, daß der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von der Länge = 1 und 1‴ Dicke, **3,14mal** größer ist, als der eines gleich langen vom Strome durchflossenen Theiles des Erdkörpers von unbekanntem Querschnitt. Aber auch dieses Resultat hat keinen Anspruch auf Genauigkeit, und in späteren Versuchen, die derselbe Gelehrte auf den weit größeren Strecken zwischen Wien und Gloggnitz (fast 11 Meilen), so wie zwischen Wien und Gratz (28 Meil.) in der eben beschriebenen Weise angestellt hat, ergeben sich für dieselben Werthe die Zahlen:

a) auf der Wien-Gloggnitzer Strecke 6,98,

b) auf der Wien-Gratzer Strecke 4,70.

Hiernach scheint der Leitungswiderstand des Erdreichs, der im Verhältnisse zu dem des Kupferdrahtes keineswegs verschwindend klein ist, nicht von der Entfernung der Stationen allein, sondern auch von der geognostischen Beschaffenheit der zwischen den Erdplatten befindlichen Erdschichten abhängig zu sein. Uebrigens ist bei allen vorgenannten Versuchen der Antheil, den die an den Erdplatten auftretende galvanische Polarisation an der Schwächung des Stromes hat, ganz unberücksichtigt geblieben.

Die auffallende Erscheinung der Erdleitung und besonders die Resultate der französischen Physiker, daß der Widerstand der Erde für große Strecken beinahe gleich Null sei, haben zu noch auffallenderen Ansichten über die Rolle, welche die Erde bei diesen Vorgängen spiele, Raum gegeben.

Arago (Compt. rend. XX. 1604) überreichte der Akademie ein Schreiben von de Tessan, Guillemin und de Girard, worin diese die Ansicht aufstellen, daß die Erde nicht als Leiter, sondern als großes Reservoir auftrete, welches die an den Erdplatten frei werdenden Elektricitäten in sich aufnehme und bewirke, daß sich dieselben in ihrem weiten

Schooße verlören. Am meisten hat Abbe Moigno (tr. de tel. el. 1849. p. 211) diese Ansicht zu begründen gesucht, wobei er sich auf die Autorität von Gauß stützt, welcher ebenfalls annahm, daß, wenn die Enden eines einzigen Drahtes, anstatt sich in der Erde auszubreiten, an zwei ganz isolirte Himmelskörper, die ein ähnliches elektrisches Verhalten zeigten wie unsere Erde, befestigt würden, ein Strom diesen Draht durchlaufen würde, und zwar mit einer doppelt so großen Intensität, als wenn er sich durch zwei zwischen ihnen ausgespannten Drähten bewegte.

Mateucci suchte der Sache auf den Grund zu kommen und brachte fast in gerader Linie 4 Brunnen an, von denen die beiden äußeren 160 Meter von einander entfernt und durch einen Kupferdraht mit eingeschalteter Batterie verbunden waren; die Entfernung der beiden inneren Brunnen von einander betrug 30 Meter, und von den äußeren Brunnen 80 und 50 Meter. Die Enden eines empfindlichen Galvanometers tauchten in die beiden mittleren Brunnen. Sobald die Batterie geschlossen wurde, zeigte sich sofort eine Ablenkung der Nadel im Galvanometer um 35° bis 40°. Wurde die Richtung des Stromes umgekehrt, so wurde auch die Nadel im entgegengesetzten Sinne abgelenkt.

Ein ähnliches Experiment war schon früher von Steinheil (dessen Vorlesung über Telegr., München 1838) mit gleichem Erfolge angestellt worden.

Diese Versuche, wenn sie auch nicht die vorliegende Frage erschöpfend erledigen und weit besser und mannichfaltiger hätten angestellt sein können, zeigen doch unzweideutig, daß wenigstens für den Fall, wo die Entfernung der Erdplatten nicht sehr bedeutend ist, die Erde als Leiter, nicht als Reservoir, auftritt. Was hindert uns nun, diese Annahme auch auf den Fall der größeren Entfernung auszudehnen? —

Störungen durch die atmosphärische Elektricität. — Telegraphische Blitzableiter. 235 Einer der schlimmsten Feinde der elektrischen Telegraphen, wenigstens bei gut isolirten oberirdischen Leitungen, ist die atmosphärische Elektricität. Eine längere oberirdische Leitung wird fast in jedem Sommer einmal vom Blitz getroffen, der dann die Tragpfosten, zuweilen auch einen Theil des Drahtes und die Instrumente zerstört oder beschädigt.

Henry (Dingl. Journ. Bd. 104, S. 265) hat die wichtigsten Erscheinungen dieser Art auf vier Hauptquellen zurückgeführt:

Erstens kann der Draht, der nach Steinheil's Ausdrucksweise einen Blitzableiter von colossalen Dimensionen bildet, aus denselben Ursachen von einem Blitzschlage getroffen werden, aus denen hoch und vereinzelt liegende metallische Körper dem Blitze so sehr ausgesetzt sind.

Zweitens kann auch ohne Vorhandenſein einer Gewitterwolke durch die Verſchiedenheit des elektriſchen Zuſtandes der Atmoſphäre an zwei verſchiedenen, weit von einander entfernten Stellen der telegraphiſchen Linie ein dauernder galvaniſcher Strom in dem Drahte entſtehen.

Sowohl Henry, als auch Baumgartner (Pogg. Ann. 1849. Nro. 1. S. 135) und Siemens (Pogg. Ann. Bd. 79, S. 484) haben vielfach beobachtet, daß ein in die Leitung ohne Batterie eingeſchaltetes Galvanometer faſt zu jeder Zeit ziemlich heftige Ströme von veränderlicher Stärke und Richtung anzeigt, die z. B. auf der Linie von Eiſenach nach Kaſſel im Sommer, während der Mittagszeit ſo heftig und veränderlich werden, daß der Dienſt auf mehrere Stunden unterbrochen wird. Sind die beiden Enden des Drahtes iſolirt, ſo zeigt er immer eine beträchtliche Ladung freier Elektricität, die um ſo ſtärker werden kann, wenn an dem einen Ende Regen oder Schnee fällt, während am anderen Ende die Luft heiter bleibt. In gebirgigen Gegenden iſt dieſe Art Luftelektricität ganz beſonders eine ſtarke Quelle von Störungen für den Telegraphen.

Drittens kann die natürliche Elektricität des Drahtes durch die Induction einer entfernten Wolke geſtört werden. Auf längeren Linien hört in den Sommermonaten in der Regel der übereinſtimmende Gang der correſpondirenden Apparate ſchon auf, wenn ſich Gewitterwolken am Himmel zeigen, und Baumgartner bemerkt, daß der Indicator-Zeiger (am Nadelapparate) bleibend abgelenkt wird, wenn ſelbſt in bedeutender Entfernung Gewitterwolken an der Telegraphenlinie vorbeizogen.

Viertens werden kräftige Ströme in dem Leitungsdrahte durch die Einwirkung dynamiſcher Induction von jedem Blitzſtrahle erzeugt, der im Umkreiſe von vielen Meilen der Linie ſtattfindet. Es iſt dieſes Phänomen daſſelbe, was man ſonſt auch wohl mit dem Namen des Rückſchlages bezeichnet; es äußert ſich meiſtens ſehr lebhaft, ja in den öſterreichiſchen Nadelapparaten zuweilen bis zur Umkehrung der Nadelpolarität. Oft, wenn das Gewitter ſchon mehrere Meilen weit von der Drahtleitung entfernt iſt, zeigt ſich in den Galvanometern oder auch an den Elektromagneten der Zeichengeber bei jedem Blitzſchlage ein ſehr heftiger Strom.

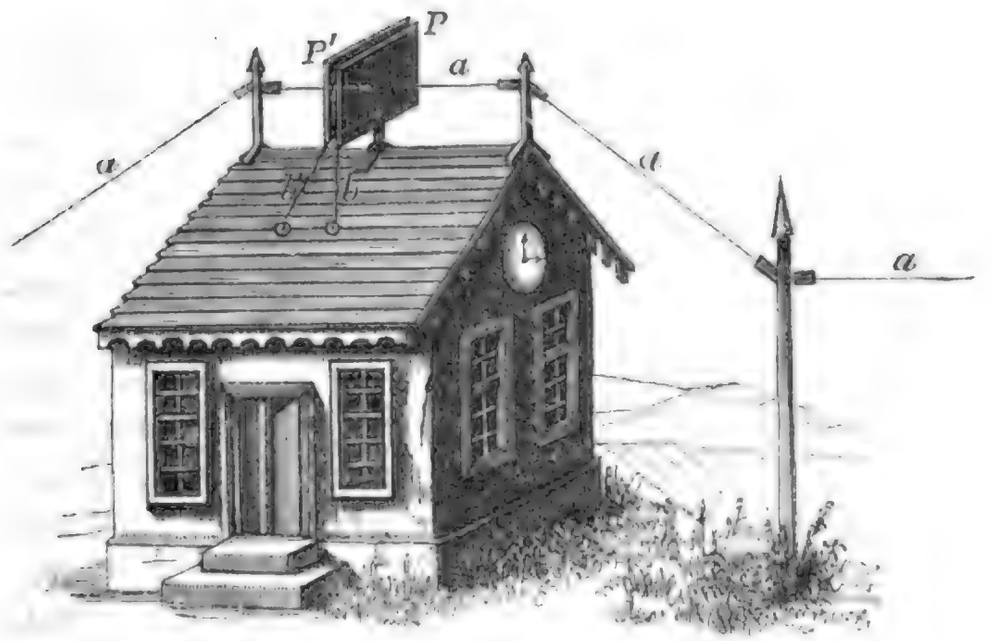
Alle dieſe Erſcheinungen, mit alleiniger Ausnahme der durch Induction hervorgebrachten, treten bei den Stangenleitungen bei weitem häufiger und ſtärker auf, als bei den unterirdiſchen; daher auch die Anwendung der letzteren Art von Leitungen das beſte Mittel iſt zu ihrer Beſeitigung. Gegen die Einflüſſe der inducirten Elektricität ſchützt auch die unterirdiſche Leitung nicht, wie die Erfahrung auf dieſer Art von Linien jeden Sommer reichlich lehrt.

Steinheil ſcheint zuerſt den Gedanken, die Zeichengeber der Luftelektricität zu entziehen, zur Ausführung gebracht zu haben. Er beob-

achtete, daß der in den Drahtrollen überſpringende Funke lieber die kleine Schlagweite von Windung zu Windung wählt, als den Umweg durch den Draht zu machen, während im Gegentheil der Strom eher eine continuirliche Kette von vielen hundert Meilen durchläuft, als daß er auf ganz kurzem Wege den Kreislauf mittelſt Ueberſpringens über eine in der Leitung befindliche, noch ſo kleine Unterbrechung vollende.

Hiernach richtete Steinheil im Jahre 1846 auf der München-Nanhofener Linie ſeine Blitzableiter ſo ein, daß der Leitungsdraht aa (Fig. 216) über dem Stationshauſe durchſchnitten und ſeine Enden an zwei bloß durch

Fig. 216.



ein feines Seidenzeug getrennte Kupferplatten P, P' angelöthet wurde. Zwei feine Drähte b, b' führten von dieſen Platten zu dem Telegraphen-Apparate. Die atmoſphäriſche Elektricität nahm in dieſem Falle den kürzeſten Weg von P zu P' durch Ueberſpringen und würde im ungünſtigſten Falle die feinen Drähte b, b' abgeſchmolzen haben, bevor ſie zu dem Zeichengeber gelangte, während der galvaniſche Strom nur auf dem Wege $aaPb — b'P'a$ oder umgekehrt circuliren konnte, und daher allemal die Zeichengeber berühren mußte. — Seit der Einführung dieſer Ableiter wurde auf der genannten Linie ſelbſt bei den heftigſten Gewittern in den Drahtrollen kein Kniſtern noch Funkenſprühen mehr bemerkt.

Breguet (Compt. rend. Bd. 24, S. 21) und Fardely (Dingl. Jour. Bd. 109, S. 113) haben ähnliche Vorrichtungen zur Ausführung gebracht; am vollendetſten jedoch ſind die vom Profeſſor Meißner in Braunſchweig auf der dortigen Telegraphenlinie ausgeführten Schutz-

platten, die in Fig. 217 und 218 abgebildet sind. Der Leitungsdraht *L* wird im Stationsgebäude auf eine 18″ lange, 14″ breite, $^2/_8$″ dicke Kupferplatte *A* geleitet und festgeschraubt. Von *A* führt ein isolirter dünner Draht *l* nach dem Telegraphen, von welchem ein anderer feiner Draht durch die Batterie führt und bei *E* an eine zweite Kupferplatte *BB* geschraubt ist, von dieser endlich geht von der Klemme *a* aus ein stärkerer Draht *e* nach der Erde. Beide Platten sind, wie Fig. 218 zeigt, zwar auf einander geschraubt, aber so, daß sie nirgendwo in metallischer Verbindung unter einander stehen, was dadurch erreicht wird, daß durch die correspondirenden Löcher *n* Röhrchen aus Elfenbein und zwischen den beiden Platten kleine $^1/_8$ Linie dicke Scheibchen aus Gutta-Percha auf die durchgehenden Röhrchen gestellt sind, welche die Platten *A* und *B* beim Anschrauben auseinander halten. Das Brett, auf welchem die Platten sich befinden, wird an der Wand befestigt.

Fig. 217.

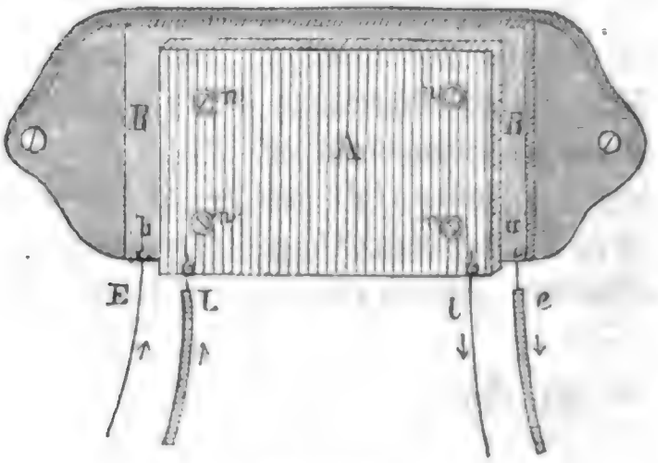
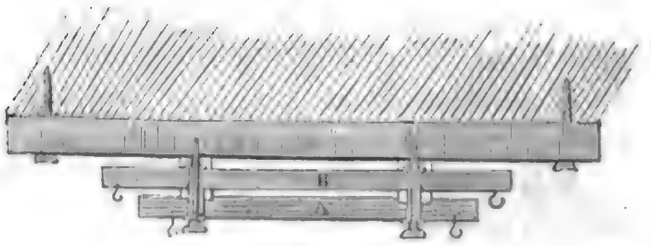


Fig 218.



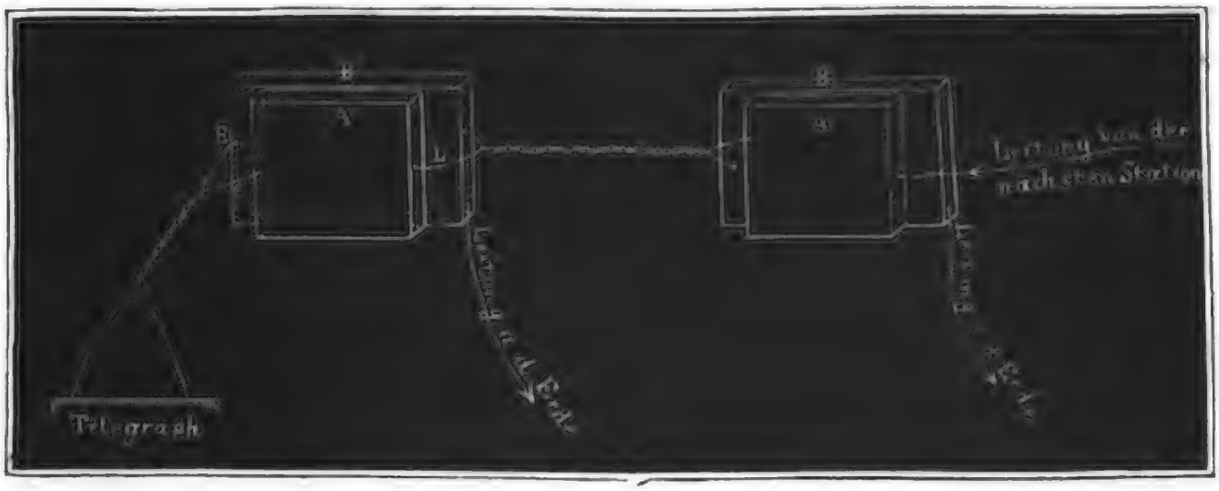
Grundriß.

Das galvanische Fluidum, durch *L* von der entfernten Station kommend, gelangt hierbei zunächst auf *A*, von da durch *l* zu dem Telegraphen und der Batterie, von da durch *E* auf *B* und endlich von hier durch *e* in die Erdplatte und durch die Erde zur andern Station zurück. Sobald sich aber in dem Leitungsdraht eine gewisse Menge atmosphärischer Elektricität ansammelt, strömt diese ebenfalls zunächst auf die Platte *A* und wählt durch Ueberspringen auf *B* den nächsten Weg zur Erde, anstatt den größern Weg durch die Umwickelungsdrähte der Elektromagnete zu nehmen.

Vielfache Beobachtungen haben ergeben, daß durch Anwendung solcher Blitzableiter die telegraphische Correspondenz, selbst bei heftigen Gewittern, unterhalten werden kann; während ununterbrochen die Funken von der Platte *A* nach *B* übersprühen, kann die Correspondenz mit den Zeigerapparaten ungestört vor sich gehen. Zu noch größerer Sicherheit werden zwei

ſolcher Schutzplatten-Vorrichtungen in die Leitung eingeſchaltet in der Art, wie Fig. 219 zeigt

Fig. 219.



Das galvaniſche Fluidum nimmt dann die Richtung von der entfernten Station zu *A*, durch einen feinen Draht zu *A'*, durch den Telegraph zu *B'*, von hier theils ſchon direct, theils noch weiter über *B* in die Erde u. ſ. w., während die atmoſphäriſche Elektricität zum größten Theile ſich ſchon durch Ueberſpringen von *A* auf *B* in die Erde verliert, der Reſt aber nach *A'* gelangend von hier auf *B'* überſpringt und ſich von dort ebenfalls in die Erde ergießt, ohne den Telegraphen zu berühren.

Man begnügt ſich indeſſen keineswegs damit, die Apparate in den Stationsgebäuden gegen die Wirkung der Luftelektricität zu ſichern, ſondern man ſtellt in geeigneten Abſtänden, beſonders in der Nähe der Endpunkte der Leitung, Metallſtücke, die durch das Schirmdach oder unter der Höhlung des Porzellantrichters gegen Näſſe geſchützt ſind, einander ſehr nahe gegenüber. Das eine dieſer Stücke wird mit dem Erdboden, das andere mit dem Drahte leitend verbunden; die atmoſphäriſche Elektricität des Drahtes wird dadurch von dem einen Metallſtück auf das andere überſpringen und der größte Theil derſelben verliert ſich auf dieſe Weiſe in die Erde, ehe ſie die Endpunkte der Leitung erreicht.

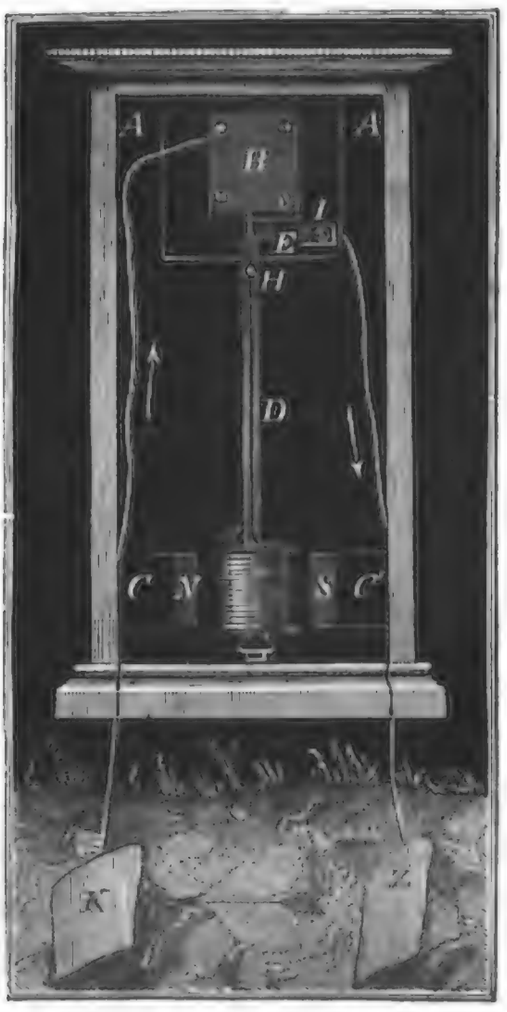
Die galvaniſchen Uhren. Schon im Jahre 1839 brachte Steinheil an den im Königl. Inſtitut für junge Damen zu München befindlichen Uhren die Vorrichtung an, daß die Uebereinſtimmung ſämmtlicher, durch einen Leitungsdraht mit der Normaluhr verbundener Uhren in regelmäßigen Zwiſchenräumen, z. B. am Ende einer jeden Stunde, hergeſtellt wurde. Ein Jahr ſpäter nahm Wheatſtone ein Patent auf eine ſeinem Zeigertelegraphen ganz nachgebildete galvaniſche Uhr, während faſt gleichzeitig Bain auftrat, um die Ehre der erſten Erfindung einer galvaniſchen 236

Uhr für sich in Anspruch zu nehmen. Seitdem haben sich insbesondere Wadham, Pernell, Weare, Fardely, Gläsener, Breguet, Garnier, endlich in der allerneuesten Zeit Stöhrer mit der Verbesserung und Vervollkommnung dieser Apparate beschäftigt.

Man kann sämmtliche galvanische Uhren in zwei Klassen theilen: entweder wird die galvanische oder die elektro-magnetische Kraft dazu verwandt, in einer gewöhnlichen Uhr das Gewichtwerk zu ersetzen, also ein Pendel oder eine Unruhe, ohne irgend eine Feder- oder Gewichtkraft in lange anhaltende Bewegung zu versetzen, oder die Uhren sind bloß Zeittelegraphen, in denen eine durch Gewicht- oder Federkraft im Gange erhaltene Normaluhr ihre Zeit auf entfernt stehende und durch einen Leitungsdraht mit ihr verbundene secundäre Apparate überträgt.

Als Repräsentant der erstern Art von Uhren, die keine wesentlichen Vorzüge vor den gewöhnlichen Gewicht- oder Federuhren darbieten, wählen wir das Pendel von Bain. In Fig. 220 bezeichnet *B* eine auf der Holzplatte *A* befestigte Kupferplatte, an welcher das Pendel *D* aufgehängt ist. Von dem untern Ende der Aufhängefeder läuft ein gut isolirter feiner Kupferdraht an der Pendelstange herab, windet sich auf einer Holzspuhle zu einer Spirale, welche die Stelle der Linse vertritt, und endigt an dem obern Theile der Pendelstange an der Feder *H*, mit welcher er in metallischer Berührung steht. Diese Feder trägt ein Platinknöpfchen *E*, welches dem Kupferplättchen *I* gegenübersteht und mit ihm in Berührung tritt, wenn die Spirale gegen *S* angelehnt wird.

Fig. 220.

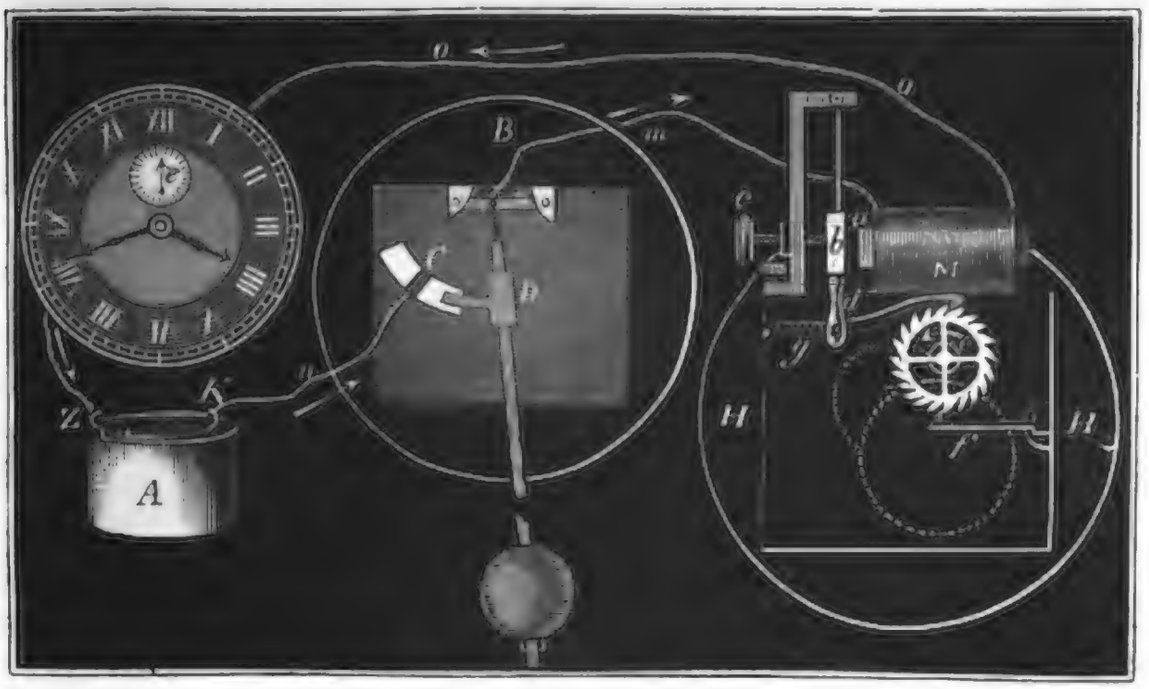


C, *C'* sind zwei Stahlmagnete, *N* ein Nord-, *S* ein Südpol. Bain setzte das Pendel durch eine Erdbatterie in Bewegung; er grub eine Kupferplatte *K* und eine Zinkplatte *Z* in den feuchten Erdboden ein und erhielt einen Strom, stark genug, um die Uhr im Gange zu erhalten. Der Strom verfolgt nämlich, sobald man zuerst die Spirale gegen *S* annähert und dadurch *E* mit *I* in Berührung bringt, die Richtung der Pfeile von *K* zu *B* und durch die

Aufhängefeder zu der Spirale, dann über *H*, *E* und *I* zu *Z*. Die Art der Windungen um die Spuhle ist nun von der Art, daß die Spirale von *S* abgestoßen, von *N* aber angezogen wird. Das Pendel schwingt also nach der Linken, wodurch der Strom wegen der Trennung der Contactstücke *E* und *I* unterbrochen ist. Beim Zurückschwingen nach der Rechten kommt aber *E* wieder mit *I* in Berührung und das Pendel erhält dadurch einen neuen Impuls nach der Rechten. So dauert die Bewegung, die nun durch Räder auf die Zeiger übertragen wird, ununterbrochen fort, so lange das Element *K Z* in seiner Kraft aushält.

Als Repräsentant der zweiten Klasse von elektrischen Uhren möge wieder das System von Bain dienen, welches in Fig. 221 abgebildet ist.

Fig. 221.

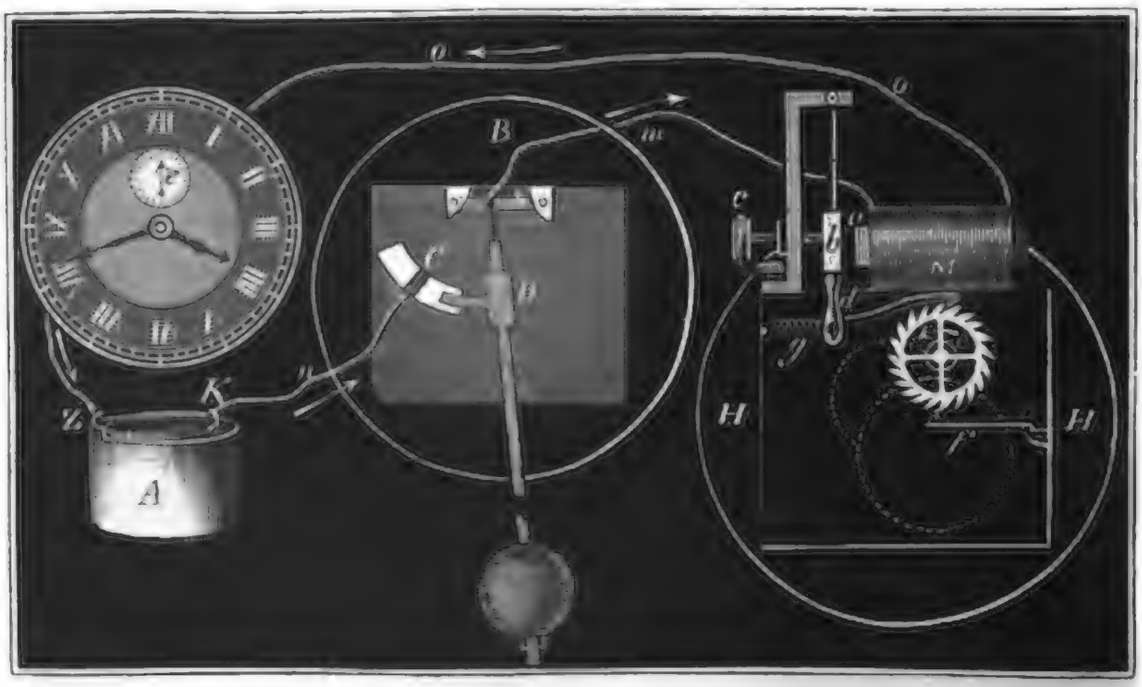


B bezeichnet die hintere Seite der Normal-Uhr, deren Pendel halbe Secunden schlägt. *C* ist ein Elfenbeinstreifen, der durch ein eingelegtes Kupferstück in zwei Theile getheilt ist. Auf der Pendelstange sitzt die Metallfeder *D*, welche bei der Bewegung des Pendels über den Elfenbeinstreifen *C* gleitet und bei der äußersten Lage des Pendels mit dem eingelegten Metallstück in Contact zu stehen kommt; letzteres ist durch einen Draht *n* mit dem positiven Pol *K* der Batterie *A* verbunden.

Von der Aufhängefeder des Pendels, die mit *D* in metallischem Contacte steht, geht ein Draht *m* nach dem Elektromagneten *M* der ersten galvanischen oder secundären Uhr *HH*; das Ende des Umwindungsdrahtes von *M* ist mit dem nach der zweiten Uhr hinlaufenden Leitungsdrahte *oo* verbunden, der in gleicher Weise mit dem Elektromagneten dieser Uhr ver-

bunden iſt, wie *m* mit *M*; von der letzten galvaniſchen Uhr geht das Ende des Umwindungsdrahtes ihres Elektromagneten zu dem negativen Pole *Z*

Fig. 222



der Batterie *A*. Es befinden ſich demnach die Elektromagnete ſämmtlicher ſecundärer Apparate in derſelben Leitung und alle ſind gleichzeitig vom Strome der Batterie afficirt, ſobald durch den Contact der Feder *D* mit dem Metall *C* die Batterie geſchloſſen wird; die bezeichneten Pfeile bezeichnen die Richtung des Stromes.

HH bezeichnet die innere Einrichtung einer ſecundären Uhr: *b* iſt der Anker des Elektromagneten, an deſſen freiem Ende *d* eine hakenförmige Klinke befeſtigt iſt, deren Haken in die Zähne eines Rades *e* eingreift. Der Sperrhaken *f* verhindert eine rückgängige Bewegung dieſes Rades. Die Schraube *c* regulirt die Gangweite des Hakens und die Feder *g* zieht denſelben in ſeine Ruhelage zurück, wenn er nicht mehr von dem Elektromagneten angezogen wird.

Der Gang der Uhren erfolgt nun in folgender Weiſe:

Sobald das Pendel beim Anfange der erſten Secunde nach der Linken bewegt und dadurch *D* mit dem Kupferſtück *C* in Berührung gebracht wird, iſt die Batterie *A* geſchloſſen. In allen ſecundären Uhren wird daher der Anker *b* von *a* angezogen und der Haken *d* legt ſich in die nächſte Zahnlücke des Rades *e* ein. Sobald aber gleich darauf das Pendel zurückſchwingt und *D* auf Elfenbein kommt, iſt der Strom unterbrochen, die Feder *g* zieht den Haken *d* zurück und dieſer nimmt einen Zahn des Rades *e* mit. Erſt nach Vollendung der erſten Secunde kommt *D* wieder

auf das Kupferstück *C* zu stehen; die Batterie ist wieder geschlossen und es legen sich die Haken *d* sämmtlicher secundärer Uhren in die folgenden Zahnlücken des Rades *e* ein u. s. w. Man sieht, wie dieses Spiel des Hakens *d* sich mit jeder Secunde wiederholt und das Rad *e*, wenn es 60 Zähne hat, sich genau in einer Minute umdrehen muß. Der Zeiger desselben giebt daher die Secunden an; die Bewegung des Minuten- und des Stundenzeigers erfolgt dann von dem Rade *e* aus, wie bei den gewöhnlichen Uhren.

Garnier's Uhren sind bereits mehrfach im Großen in Anwendung; sie setzen ebenfalls eine Normaluhr voraus, in welcher nicht das Pendel selbst, sondern ein besonderes Rad alle 5 oder 6 Secunden einmal die Batterie schließt. Die secundären Uhren, die in Fig. 223 abgebildet sind, zeichnen sich durch einen sehr sichern Gang aus, der durch die eigenthümliche Construction des Hemmungsrades erhalten wird.

Fig. 223.

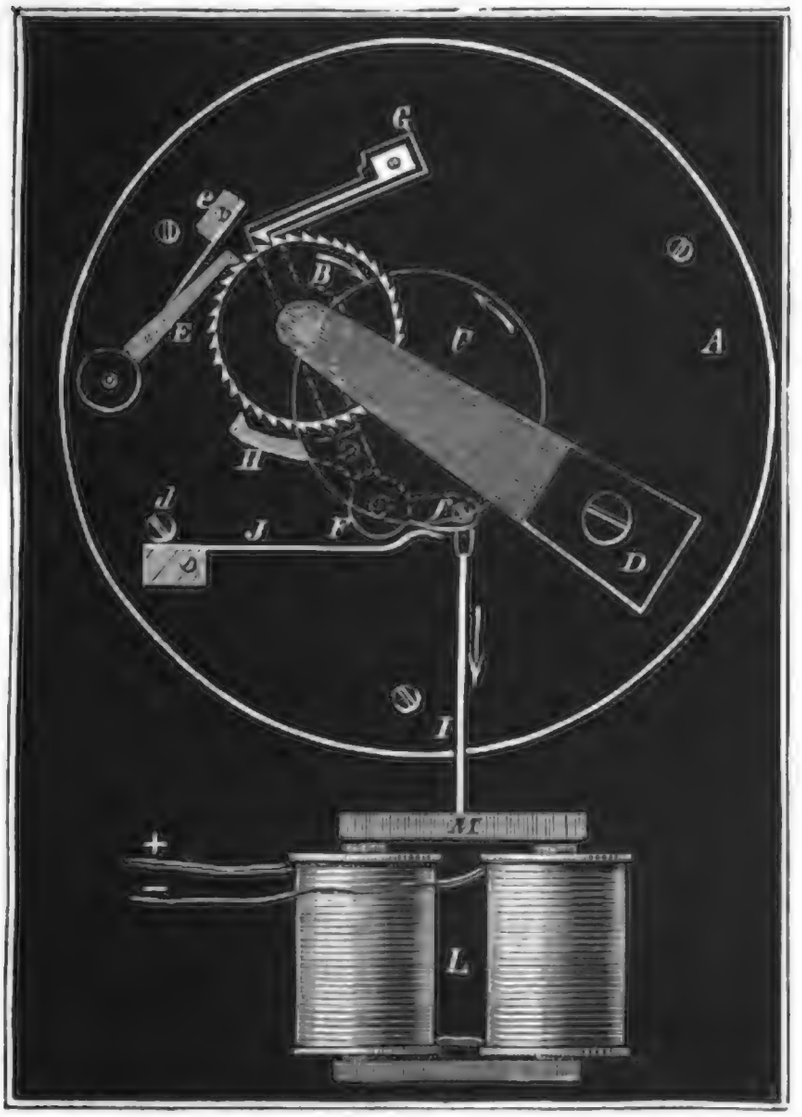


Fig. 224.

M der Anker des Elektromagneten, der alle 5—6 Secunden in Folge des durch die Normaluhr erzeugten Stromes angezogen wird und dann

an der Stange *I* den Arm *f* des Winkelhebels *f F G* (s. Fig. 225) niederzieht. Der obere Theil dieses Hebels enthält den Haken *G*, welcher in den Zahnlücken des Rades *B* liegt und es um einen Zahn nach der Richtung des Pfeiles dreht, sobald *f* niedergeht und dadurch *G* nach der Rechten geschoben wird. Zugleich legt sich dabei der Haken *H* in die Zähne des Rades *B* ein, um zu verhüten, daß nie zwei Zähne zugleich durch *G* fortgezogen werden können; während der Sperrhaken *E* eine rückläufige Bewegung dieses Rades *B* nicht zuläßt. Die Bewegung des Rades *B*, die durch diese Vorkehrungen sehr bestimmt wird, überträgt sich mittelst eines Systems von Rädern auf den Minuten- und Stundenzeiger.

Fig. 225.

Gegenwärtig beschäftigt sich Stöhrer, der bereits im Jahre 1849 mit dem Uhrmacher W. Scholle ein Patent auf ein neues System elektrischer Uhren genommen hat, vielfach mit diesem Gegenstande, und bereits befindet sich eine ziemliche Anzahl von seinen Apparaten in Leipzig, in Berlin u. a. O. im Betriebe.

237 **Galvanisch registrirende Uhren.** sind zuerst in Nordamerika vor ungefähr anderthalb Jahren von Professor Locke erfunden und in Anwendung gebracht worden. Um von dieser sinnreichen Benutzung des Galvanismus, welche für die Astronomie von der größten Bedeutung zu werden verspricht, unsern Lesern einen Begriff zu geben, folgt hier, was Lamont in seinem astronomischen Kalender für das Königreich Baiern auf das Jahr 1852 Seite 153 darüber sagt:

»Zu einer galvanisch registrirenden Uhr braucht man als Hauptheil »eine gewöhnliche astronomische Uhr mit folgender specieller Einrichtung:

»Die Axe, an welcher der Secundenzeiger der Uhr festgemacht ist, trägt »(hinter dem Zifferblatte) ein besonderes Rad mit 60 Zähnen: so oft eine »Secunde springt, bewirkt ein Zahn dieses Rades eine augenblickliche »Schließung einer galvanischen Kette, in welcher sich ein Elektromagnet »befindet.

»In dem Momente, wo die Kette geschlossen wird, zieht der Elektro»magnet seinen Anker an, dabei macht ein mit dem Anker verbundenes »spitziges Hämmerchen einen Punkt auf einen darunter befindlichen Papier»streifen.

»Da der Papierstreifen mittelst eines Laufwerkes mit gleichmäßiger »Geschwindigkeit sich unter dem Hämmerchen vorwärts bewegt, so wird »auf solche Weise eine Reihe von Punkten (nach Locke's Einrich-

»tung ungefähr einen Zoll auseinander) auf dem Papierstreifen entstehen, »welche die Zeitsecunden vorstellen. Diese nennt man Se»cundenpunkte.

»Das Rad, welches die Schließung der Kette bewirkt, ist so eingerichtet, »daß bei der 60sten Secunde die Schließung etwas länger dauert; es ent»steht demnach bei jeder Minute auf dem Papiere anstatt des Punktes »ein kurzer Strich. Auf solche Weise werden die vollen Minuten er»kennbar gemacht.«

»Dies ist die ganze Einrichtung, so weit die Uhr einzuwirken hat: der »Zweck geht dahin, daß die Secunden aufgezeichnet werden.

»Neben dem eben besprochenen Elektromagnet ist aber ein zweiter festge»macht, der ebenfalls mit Anker und Hämmerchen versehen ist und einer »Kette angehört, die der Beobachter beliebig schließen kann, da»durch, daß er mit dem Finger auf eine Taste (ähnlich einer Klaviertaste) »anschlägt. Die zwei Hämmerchen befinden sich unmittelbar neben einander, »und so oft die Taste angeschlagen wird, macht das zweite Hämmerchen »einen Punkt in gleicher Weise wie das erste; wenn man also wiederholt »anschlägt, so entsteht auf dem Papierstreifen eine zweite Reihe von Punk»ten neben der ersten Reihe — den Secundenpunkten — fortlaufend. »Diese werden Beobachtungspunkte genannt.

»Nach der gegebenen Erklärung wird man sich den Gebrauch leicht vor»stellen können. Es sei z. B. eine Sonnenfinsterniß zu beobachten, so »sieht man durch das Fernrohr und hält den Finger an der Taste, bis der »Mondrand die Sonne berührt. In dem Augenblicke, wo die Berührung »stattfindet, schlägt man die Taste an und ein Punkt ist auf dem Papier»streifen gemacht.

»Nun sieht man auf dem Papierstreifen nach. Steht der Beobachtungs»punkt neben einem Secundenpunkte, so hat die Beobachtung mit der »Secunde zusammengetroffen und der Anfang der Finsterniß tritt um so »viel Uhr, Minuten und Secunden ein. Trifft der Beobachtungspunkt »nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden »ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen »abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wie viel Zehntel »und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorher»gehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer »Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

»Diese große Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug »der galvanisch registrirenden Uhr.

»Auf ähnliche Weise wird verfahren, wenn man an einem Meridian»Instrument die Durchgänge der Sterne beobachtet. So oft der Stern »an einen Faden kommt, so schlägt man die Taste an und kann auf dem

»Papierstreifen später die Zeiten mit beliebiger Schärfe ablesen. Wenn »man aber Beobachtungen dieser Art macht, so ist es vor Allem zweckmäßig, »die gewöhnlichen Fadennetze der Meridianinstrumente abzuändern. Bei »der gewöhnlichen Beobachtung hat man gefunden, daß die Zwischenräume »der Fäden 25 Secunden (Zeit) betragen müssen, wenn die Durchgänge »gehörig bestimmt werden sollen. Beim Anschlagen der Tasten dagegen »reichen Zwischenräume von 1½ Secunden vollkommen aus, so daß man »10 Fäden hinbringen kann, wo früher nur einer war.

»Die Zahl der Beobachtungen kann also in derselben Zeit auf das »Zehnfache vermehrt werden, und was sonst in zehn Jahren geleistet »werden konnte, läßt sich jetzt mit Hülfe einer registrirenden »Uhr in einem Jahre zu Stande bringen.

»Die zwei Vortheile, die wir eben bezeichnet haben: nämlich größere »Genauigkeit der einzelnen Beobachtung und zehnfach grö»ßere Leistung in demselben Zeitraum, werden an und für sich zu »dem Ausspruche berechtigen, daß die Astronomie durch die Erfindung von »Locke ein mächtiges Hülfsmittel erhalten hat. Der Ausspruch wird noch »mehr gerechtfertigt erscheinen, wenn wir noch die sonstigen Vortheile re»gistrirender Uhren näher betrachten.

»Bisher mußte man die Uhr immer neben sich haben, um die Secunden »zu hören, und konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren »Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel ge»geben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr »dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung »leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht ein»mal erforderlich, daß die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst »ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmäßiger, sie in einem Wohn»zimmer oder Büreau — natürlich an einem isolirten Pfeiler — aufzu»stellen, wo sie keiner großen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und »einen gleichmäßigen Gang einhalten kann.

»Eine registrirende Uhr läßt sich ferner noch mit dem elektrischen Tele»graphen in Verbindung bringen und zu mannichfaltigen Zwecken benutzen. »Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und »einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der »Durchgang derselben Sterne über den Meridian beobachtet wird, so läßt »sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische »Längendifferenz ableiten.

»Solche Bestimmungen sind in Nordamerika bereits mit dem besten »Erfolge ausgeführt worden. Aehnliche Operationen werden ohne Zweifel »bald auf dem europäischen Continent zur Ausführung kommen. Schon »in der nächsten Zukunft wird das Telegraphennetz so weit ausgebreitet

»seyn, daß die Sternwarten von Paris, Wien, Berlin, München, Prag, »Mailand, Brüssel, Bonn, Breslau, Leipzig unmittelbar mit einander in »Verbindung gesetzt werden können.

»Ein weiterer Vortheil besteht darin, daß eine genaue Vergleichung der »Uhren verschiedener Sternwarten stattfinden kann, was bei mancherlei »Gelegenheit von Wichtigkeit ist, besonders bei Sonnenfinsternissen, bei »merkwürdigen Sternbedeckungen u. s. w.

Lamont hat auf der Münchener Sternwarte bereits eine galvanisch registrirende Uhr eingerichtet.

Galvanische Töne. Der Erste, welcher eine hierher gehörige Tonbil- 238
dung beobachtet hat, ist Page. Eine flache Spirale von 40 Windungen eines dicken (übersponnenen) Kupferdrahtes wurde zwischen den Polen eines aufgehängten Hufeisenmagneten so angebracht, daß keine Berührung zwischen der Spirale und den Polen stattfand. Die Spirale befand sich im Schließungsbogen eines einfachen voltaischen Elementes. Wenn nun die Kette geöffnet oder geschlossen wurde, so hörte Page in dem Magneten einen anhaltenden Ton. Beim Schließen war der Ton schwächer als beim Oeffnen, in welchem Fall er auf 2—3 Fuß Entfernung hörbar war. Das Oeffnen und Schließen der Kette geschah in solcher Entfernung von der Spirale und dem Magneten, daß das Geräusch der dabei entstehenden Funken nicht störend einwirken konnte. (Silliman, Amer. Journ. July 1837. P. A. XXXXIII, 411).

Im LXIII. Bande von Poggendorf's Annalen findet sich nun auf Seite 530 in Betreff des Tönens beim Elektromagnetisiren die Notiz, daß Page's Entdeckung zu Frankfurt a. M. dahin erweitert ward, daß Eisenblech, zu einem Cylinder gebogen, innerhalb des schraubenförmigen Schließungsdrahtes einer voltaischen Kette beim Anfang und Ende des Stromes ein Knistern hören lasse. — Von wem dieser Versuch herrührt, ist nicht gesagt. An derselben Stelle wird aber weiter berichtet, daß Marrian in Birmingham das Tönen von Eisenstäben beobachtet habe, welche sich in einer Magnetisirungsspirale befinden, wenn der Strom, welcher dieselbe durchläuft, abwechselnd unterbrochen und wieder hergestellt wird. — Die Stäbe waren $\frac{1}{4}$ bis 2 Zoll dick und $\frac{1}{2}$ bis 20 Fuß lang; sie gaben dabei immer denselben Ton, der auch durch Streichen ihres Endes zu erhalten war (also wahrscheinlich der Longetudinalton). Harter Stahl und ein Magnetstab verhielten sich ebenso. Andere Metalle tönten nicht.

Diese Notiz ist dem Phil. Mag. (1844 Vol. 25 p. 382) entnommen, wo wahrscheinlich Näheres über die Art und Weise sich findet, wie Marrian seine Versuche anstellte. Weiter unten finden sich detaillirte Angaben über ähnliche Versuche Wertheim's.

Die Comptes rendus (T. XX, p. 1827) enthalten einen Brief De La Rive's an Arago, in welchem er von seinen Versuchen über das galvanische Tönen Nachricht giebt. (P. A. LXV, 637). Was in demselben über die Versuche selbst gesagt ist, mag hier (mit Hinweglassung alles Raisonnements) wörtlich folgen:

»Auf einem Resonanzboden brachte ich Drähte und Stäbe an, ver»schieden an Metall, an Länge und Durchmesser; die Einrichtung des »Apparates erlaubte, die Drähte mehr oder weniger zu spannen, wie »auf einem Monochord. Jeder Stab oder Draht war so angeordnet, »daß er durch die Axe einer Spule gehen konnte, die mit einem dicken, »mit Seide übersponnenen Kupferdraht schraubenförmig umgeben war. »Den mittelst eines Commutators discontinuirlich gemachten Strom ließ »ich bald durch den zum Versuch genommenen Metalldraht selber gehen, »bald durch den ihn umgebenden Schraubendraht. Folgendes waren die »Resultate:

»Bei eisernen Drähten und Stäben ist der Ton fast derselbe, es mag »der discontinuirliche Strom geradezu durch sie gehen, oder sie abwechselnd »magnetisiren und demagnetisiren, indem man ihn durch den Schrauben»draht leitet. — — — — — — — — — — —

— — — — — — — — — — — — —

»Was den Ton betrifft, so kann ich keine bessere Idee von ihm geben, »als wenn ich ihn mit dem eines Savart'schen gezahnten Rades vergleiche. »Es ist mehr ein Geräusch, hervorgehend aus dem Stoß der Metall»theilchen gegeneinander, als ein musikalischer Ton. Freilich hört man »auch musikalische Töne, nämlich die harmonischen von demjenigen, wel»chen der Draht oder Stab durch Querschwingungen geben würde; — — — — — Man kann sie verschwinden machen, wenn man den schwin»genden Körper mit der Hand anfaßt, ohne daß dadurch das eigentliche »Geräusch aufhört.

»Wenn der Eisendraht angelassen ist, giebt er bei Leitung des elektrischen »Stroms einen weit stärkeren Ton, als wenn er durch die Wirkung des »Schraubendrahtes abwechselnd magnetisirt und demagnetisirt wird. Das »Umgekehrte findet bei einem gehärteten Stahl statt. Ein Stahldraht giebt, »den Strom leitend, nur einen sehr schwachen Ton, und unter Einfluß des durch »den Schraubendraht gehenden Stromes einen weit stärkern. Der Ton, »welchen ein wohl angelassener Eisendraht bei Leitung des Stromes giebt, »ist ein sehr starker, der viel Aehnlichkeit hat mit dem Ton einer Thurm»glocke von Weitem.

»Die Art des Tones ist verschieden nach der Geschwindigkeit, mit welchen »die discontinuirlichen Ströme auf einander folgen. Ist diese Folge rasch, »so ähnelt der Ton sehr dem Geräusch eines starken Windes. Das gilt

»sowohl von dem nach der einen, als nach der andern Art hervorge»brachten Ton.

»Derselben doppelten Wirkung habe ich ausgesetzt: Platin-, Silber-, »Kupfer-, Messing-, Neusilber-, Blei-, Zinn- und Zinkdrähte. Alle gaben »wahrnehmbare, mehr oder weniger intensive Töne, sie mogten den Strom »leiten oder der Wirkung des schraubenförmigen Stroms ausgesetzt seyn. »Bei jedem Metall war zwischen dem nach der einen oder der andern »Weise erzeugten Ton kein merklicher Unterschied.

»Merkwürdig ist, daß Kupfer, Messing, Platin und Argentan nur »einigermaßen intensive Töne geben, so lange sie keiner merklichen Span»nung ausgesetzt sind, so wie man sie aber ein wenig spannt, nimmt die »Intensität des Tones ab und bei starker Spannung wird sie fast Null. »Genau das Umgekehrte gilt vom Blei, Zink und Zinn.

»Die Länge des Drahtes hat keinen Einfluß auf die Art des Tons; »sie hat nur einen auf die Intensität desselben insofern, als bei schwächerem »Strom eine geringere Drahtlänge erforderlich ist, wenn der Ton merklich »seyn soll, wenigstens wenn es sich um den Ton handelt, den der Draht »bei Leitung des Stromes giebt. — — —

»Wenn dann der discontinuirliche Strom den Schraubendraht durchläuft, »so sieht man die Scheibchen sich bewegen und in der merkwürdigsten »Weise um einander drehen. Das Feilsel scheint vollkommen im Kochen »zu seyn, und ist der Strom intensiv, so spritzt es, wie Wasser, in Strah»len von 3 bis 4 Centimeter Höhe auf; zugleich ist diese Bewegung des »Feilsels von einem Geräusch, ähnlich dem einer siedenden Flüssigkeit, »begleitet.«

In dem schon oben auf Seite 408 erwähnten Aufsatze De La Rive's, verbreitet sich derselbe (Seite 285) auch über die galvanischen Töne. Die das Experiment selbst betreffenden Stellen sind folgende:

»Außer Eisenstäben nahm ich auch Stäbe von anderen Metallen, wie »Zinn, Zink, Blei, Wismuth u. s. w. Ich legte sie auf die Pole eines »Elektromagneten und ließ den unterbrochenen Strom einer Groveschen »Batterie von 5 bis 10 Paaren durch sie gehen. So lange der Elektro»magnet nicht magnetisirt war, gaben sie keinen Ton; so wie er aber »wirkte, hörte man deutlich Töne, bestehend aus einer Reihe von Schlägen, »welche den Unterbrechungen des Stromes entsprachen und den durch ein »gezahntes Rad erzeugten Tönen analog waren. Die Stäbe waren 18 »Zoll lang und 9 bis 10 Linien im Quadrat. Stäbe von Kupfer, Platin »und Silber gaben ähnliche Wirkungen. Ein Eisenstab gab unter dem »Einfluß des Magneten keinen lauteren Ton, als ohne dessen Einwirkung.

»Am merkwürdigsten schien es mir, daß Blei, ein so wenig elastischer »Körper, unter gleichen Umständen einen eben so kräftigen Ton lieferte, »wie die übrigen Metalle. Die Lage der Metallstäbe in Beziehung auf »die Pole des Elektromagneten änderte das Resultat des Versuchs in keiner »Weise ab; sie mochten axial, d. h. in der Richtung der Pole, oder äqua»torial, d. h. quer gegen die Pole gelegt werden, so blieb doch der Effect »derselbe; nur war er schwächer, so wie die Entfernung des Stabes von »den Polen wuchs. Um den Ton, wenn er nicht sehr stark war, deut»lich zu hören, brauchte man nur den Metallstab durch einen Holzstab »mit dem Ohr in Verbindung zu setzen. Auf diese Weise wurde der Ton »nicht selten einige Secunden lang gehört und wenn der Elektromagnet »außer Thätigkeit gesetzt ward, vor seinem gänzlichen Verschwinden lang»sam abnehmend. — — — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — —

»Die Stärke des Tons scheint viel weniger von der Natur der zum »Versuch genommenen Substanz abzuhängen, als von deren Gestalt, »Volum und Masse. Röhren von Platin, Kupfer oder Zink geben deut»lichere Töne, als massive Stäbe von diesen Metallen. Ich wickelte einen »Bleidraht schraubenförmig auf einen Holzcylinder; ich that dasselbe mit »einem sehr feinen Platindraht, sowie auch mit Drähten von Kupfer,

»Zink und Zinn, mit der Vorsorge, die Windungen so weit auseinander »zu halten, daß sie isolirt waren. Diese Schraubendrähte gleich Stäben »oder Röhren entweder in der Richtung der Pole oder quer darauf gelegt, »gaben sehr starke Töne, wenn bei geladenem Elektromagnet ein unter»brochener Strom durch sie geleitet wurde. Besonders überraschend war »es, den Bleidraht einen so starken Ton geben zu hören. Ein mit Seide »besponnener Kupferdraht, in mehreren Lagen schraubenförmig übereinander »gewickelt, gab ebenfalls einen sehr starken Ton; auch gab er einen, ob»wohl viel schwächern, unter Einwirkung des Elektromagneten.

»Es ist fast unnöthig, zu bemerken, daß bei allen diesen Versuchen ein »gewöhnlicher Magnet eben so wirkt wie ein Elektromagnet. Allein in»teressanter ist es, den Elektromagneten durch einen Schraubendraht zu »ersetzen, welcher von einem starken continuirlichen Strom durchlaufen »wird, in dessen Axe man den Stab, die Röhre oder den aufgewickelten »Draht, welcher den unterbrochenen Strom leitet, gelegt hat. Versuche »haben mir gezeigt, daß in diesem Falle die Resultate dieselben sind; die »Stärke der Töne ist nicht sehr verschieden, besonders wenn Röhren und »schraubenförmige aufgewickelte Drähte gebraucht werden. Wenn zwi»schen dem äußern Schraubendraht und dem der Wirkung unterworfenen »Metall eine Röhre von weichem Eisen eingeschoben wird, ist die Wir»kung etwas stärker; dagegen wird sie, wenn die Röhre von Kupfer ist, »weder verstärkt noch geschwächt; nur hört man in diesem Fall noch ei»nen andern Ton, der von der Kupferröhre auszugehen scheint. Diese »Röhre wird indeß nicht von einem Strom durchlaufen; allein wahr»scheinlich wirken auf sie Inductionsströme, welche von den unterbroche»nen Strömen, die den in der Axe des Schraubendrahtes liegenden Leiter »durchlaufen, in ihr erzeugt werden. Ich construirte aus zwei dicken, mit »Seide besponnenen Kupferdrähten einen doppelten Schraubendraht, jeden »von mehreren Windungen und den einen über den andern. Als ich den »stetigen Strom durch den äußern Draht gehen ließ, und den unterbro»chenen durch den inneren, hörte ich einen merkwürdig starken Ton. Im »umgekehrten Fall entstand ein viel schwächerer Ton.

»Metalle und starre Substanzen sind nicht die einzigen Körper, »welche die oben beschriebenen Erscheinungen hervorbringen; vielmehr schei»nen alle leitenden Körper, was auch ihr Zustand oder ihre Natur seyn »möge, dazu geschickt zu seyn. So habe ich sie mit Kohlenstücken aller »Arten und Gestalten beobachtet. Auch Quecksilber erzeugt sie in markir»ter Weise. In eine Glasröhre von 1 Zoll Durchmesser und 10 Zoll »Länge schloß ich Quecksilber ein; die Röhre war ganz voll und sorgfältig »verschlossen, so daß das Quecksilber sich nicht bewegen konnte. Dennoch »wurde ein merkwürdig starker Ton gehört, so wie man mittelst zweier

»Platindrähte einen unterbrochenen Strom hindurchleitete und den Elek»tromagneten oder Schraubendraht wirken ließ. Ebenſo gab Queckſilber »einen Ton, wenn es, ſtatt in eine Röhre eingeſchloſſen zu ſein, in einen »offenen Trog gegoſſen war. — — — — — — — —
— — — — — — — — — — — — — —

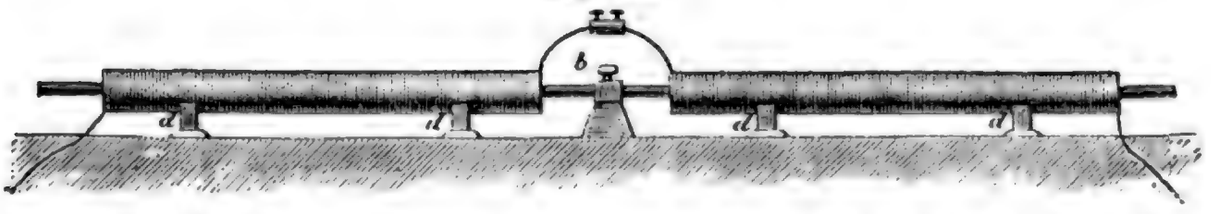
»In eine Platinſchale, die auf einem der Pole eines Elektromagneten »ſtand, wurde ſucceſſive verdünnte Schwefelſäure, und was ſelbſt beſſer »iſt, Salzwaſſer gegoſſen. In die Flüſſigkeit tauchte man eine Platin»ſpitze, die nebſt der Schale dazu dient, einen unterbrochenen Strom »durch jene zu ſenden. Wiederum ward ein Ton gehört, doch weniger »deutlich, wegen des Geräuſches, welches die Gasentwickelung verurſachte; »dennoch war es ſo vernehmlich, daß über ſein Daſeyn kein Zweifel übrig »bleiben konnte.«

Gewiß iſt es eine Reihe eben ſo intereſſanter, wie für die Entwickelung der Theorie wichtiger Erſcheinungen, welche De la Rive durch ſeine Experimentalunterſuchungen aufgefunden und in dem Obigen bekannt gemacht hat. Was nun aber die Details der Verſuche anbelangt, ſo iſt ſchwerlich in Abrede zu ſtellen, daß De la Rive in den citirten Stellen die Bedingungen nicht genügend hervorgehoben hat, welche zum Gelingen der Verſuche nothwendig ſind. Ein weiterer Aufſatz De la Rive's über denſelben Gegenſtand in den Annales de l'électricité Nro. 17. iſt mir nicht zu Geſicht gekommen, ich weiß alſo nicht, ob er präciſere Angaben enthält.

239 **Wertheim's Unterſuchungen über die durch den elektriſchen Strom hervorgebrachten Töne.** Auch Wertheim hat über die Tonerregung durch Galvanismus Verſuche angeſtellt. Die erſte Notiz findet ſich in Compt. rend. XXII, p. 336. P. A. LXVIII, S. 140. In einem ſpäteren Aufſatz (Ann. de chim. et de phys. Sér. III. T. XXIII, 302; P. A. LXXVII, 43.) ſind dieſe Verſuche genauer beſchrieben und durch Abbildungen erläutert.

Um den galvaniſchen Ton in Eiſenſtäben zu erzeugen, wandte er den Apparat Fig. 226 an. Ein 2 Meter langer Eiſenſtab iſt in ſeiner Mitte

Fig. 226.



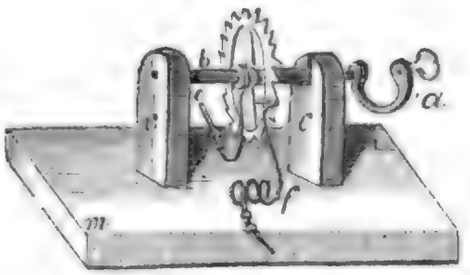
bei *b* feſtgeklemmt; über jede Hälfte iſt eine auf eine Glasröhre gewickelte, durch die Füße *d* getragene 90 Centimeter lange Magnetiſirungsſpirale geſchoben, ſo daß das Ende des Stabes noch vorragt.

Durch Streichen eines der freien Enden kann man den longitudinalen Ton des Stabes erzeugen. Dieser Ton bleibt derselbe, mag nun in den Spiralen ein Strom circuliren oder nicht.

Sobald man den Strom discontinuirlich macht, läßt der Stab ebenfalls einen Ton hören, welcher dem durch Reiben erzeugten Longitudinalton ganz gleich ist; er ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen.

Die Unterbrechungen und Wiederschließungen des Stromes wurden entweder an einer der Drahtklemmen bewerkstelligt, oder mittelst eines in den Schließungsbogen eingeschalteten Queckſilbernäpfchens, oder endlich mittelst eines Rheotoms (ein Apparat wie der Fig. 227 ist dazu ganz tauglich) zu Stande gebracht, welcher, um das Geräusch und die Stöße seiner Bewegung zu vermeiden, in einem anstoßenden Zimmer aufgestellt war.

Fig. 227.



Als zu diesem Versuche Stäbe von 2 — 1,6 — 1,33 und 1 Meter Länge angewandt wurden, gaben sie den Grundton, die Terz, die Quart und die Octav.

Der longitudinale Ton ist fast immer begleitet von einem Stoß und trockenem Geräusch, welches nicht den Charakter eines bestimmten musikalischen Tones hat.

Das Resultat bleibt für alle Querdimensionen dasselbe.

Stahlstäbe geben gleichfalls sehr schöne Töne; dagegen geben Stäbe von Zink, Kupfer, Messing, Glas u. s. w. selbst mit Säulen von 20 Bunsen'schen Elementen keinen Ton.

Befindet sich der Stab außerhalb der Axe der Spirale, so ist der longitudinale Ton weniger rein und von Querschwingungen begleitet, die schon dem bloßen Auge sichtbar sind; allein diese Schwingungen geben einen so schwachen Transversalton, daß man ihn nicht anders hören kann, als wenn man das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

Der Ton bleibt sich gleich, es mag der Strom in gleichem oder entgegengesetztem Sinn die beiden Hälften des Stabes umkreisen, oder endlich nur auf eine Hälfte oder irgend einen Theil des Stabes wirken, sobald nur dieser Theil hinlänglich vom Einspannungspunkt entfernt und der Strom hinlänglich stark ist.

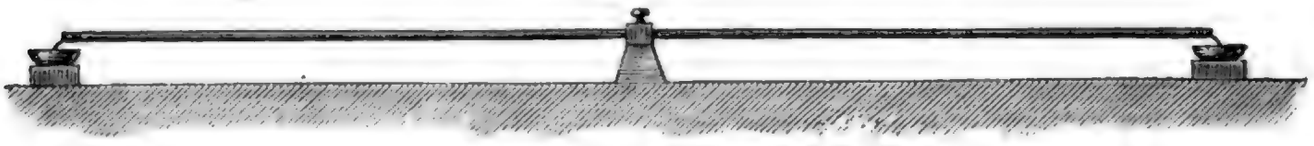
Aehnliche Resultate wurden mit Eisen- und Stahldrähten erhalten, welche in der Axe der Magnetisirungsspirale ausgespannt waren. — Wertheim wandte Drähte von 0,5 bis 3 Millimetern Dicke an. Sobald die Spannung so stark war, daß der am Draht hinabgeführte Vio-

linbogen nur den Längston ohne ein anderes Geräusch vornehmen ließ, war der vom unterbrochenen Strom erregte Ton auch ganz rein; wenn aber die Spannung vermindert wird, ist sowohl der vom Violinbogen als auch der durch den Strom erzeugte Ton von einem andern Geräusch begleitet. Dieses Geräusch ist nicht bloß der Querton, sondern ein ganz eigenthümliches, anscheinend den Draht entlang laufendes Geklirr, so wie andere Arten von schwer bestimmbarem Geräusch, welches vorzugsweise bei rasch auf einander folgenden Unterbrechungen merklich wird. Bei dünnen Drähten ist dieses Geräusch schwer zu beobachten, während der Längston selbst bei schwachen Spannungen andauert. — Wohl angelassene Drähte von 1^{mm} Durchmesser geben im Allgemeinen die besten Resultate.

Drähte von Blei, Zinn, Zink, Kupfer, Messing, Silber und Platin geben, nach Wertheim's Versuchen, keinen Ton.

Auch mit dem durchgeleiteten Strom brachte Wertheim Töne hervor. Um sie in einem Eisenstabe zu erzeugen, befestigte er einen dünnen Messinghaken an jedem Ende des Stabes, Fig. 228, und tauchte dieselben in Quecksilbernäpfchen.

Fig. 228.

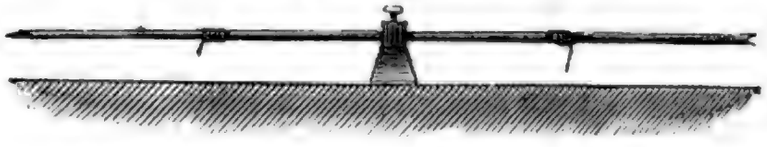


Jedesmal, wenn der Strom hergestellt und wieder unterbrochen wird, hört man den Längston. »Bei diesen Versuchen muß man sich aber sehr hüten,« sagt Wertheim, »den eigenen Ton des Stabes zu verwechseln mit dem Geräusch des Funkens, welches sich gleich jedem andern Ton mit großer Leichtigkeit durch starre Körper fortpflanzt. Dieser Fehler wird leicht begangen, besonders wenn der Stab oder der Draht auf einem Resonanzkasten befestigt ist.«

Bei gleichem Strom nimmt die Stärke des Tones ab, wenn der Stab dicker ist.

Derselbe Stab giebt stets denselben Ton, wenn er auch nicht seiner ganzen Länge nach, sondern nur theilweise von dem Strom durchlaufen wird, wie es der Fall ist, wenn die den Strom einleitenden Häkchen so angebracht sind, wie es Fig. 229 andeutet. Je mehr man sich aber mit

Fig. 229.



dieſen Einleitungshäkchen der Mitte des Stabes nähert, je kürzer man alſo das vom Strom durchfloſſene Stück macht, deſto ſchwächer wird der Ton.

Wenn der Stab nicht eingeſpannt, ſondern auf Rollen gelegt wird, ſo iſt der Ton trockener und ſchwächer.

Berührt man das Ende des auf Rollen liegenden Stabes direct mit dem Zuleitungsdraht, ſo hört man deutlich ein Geklirr, welches den Stab entlang zu laufen ſcheint und von deſſen Durchmeſſer unabhängig iſt; es bleibt bisweilen mehrere Secunden, während der Längston erſt im Moment der Unterbrechung wieder erſcheint. Dies Geklirr erſcheint beſonders, wenn man den Stab mit dem poſitiven Pole berührt.

Wertheim macht hier die Bemerkung, daß dieſer Ton wahrſcheinlich von der Ordnung derjenigen ſey, welche De la Rive bei ſeinen im vorigen Paragraphen beſprochenen Unterſuchungen beobachtet hat.

Ein Stahlſtab läßt denſelben Ton und daſſelbe Geräuſch vernehmen, Stäbe von anderen Metallen geben, nach Wertheim, keinen Ton.

Mit Eiſen- und Stahldrähten von verſchiedenem Durchmeſſer erhält man den longitudinalen Ton ſehr rein, wenn ſie auf dem Sonometer ſtark ausgeſpannt ſind, ſo wie man aber ihre Spannung vermindert, miſchen ſich dem Längston die ſchon erwähnten Arten von Geräuſch bei.

Wenn die beiden Enden eines Eiſendrahtes, von dem ein Theil auf dem Sonometer ausgeſpannt iſt, während der Reſt ſchlaff bleibt, mit dem Rheotom in ein benachbartes Zimmer gebracht ſind, ſo hört man im Moment der Stromſchließung oder Unterbrechung in allen Theilen der Drahtleitung, wenn man das Ohr an dieſelbe hält, eine trockenes Geräuſch, ein Kniſtern, wie das von Funken, welches ſich erſt im ausgeſpannten Theile in einen deutlichen Ton verwandelt, während man nichts der Art hört, wenn man durch Reiben des einen Drahtendes an einem harten Körper ein Geräuſch erzeugt, welches unmittelbar weit ſtärker iſt als der Funken, ſich aber nicht durch den Leiter fortpflanzt.

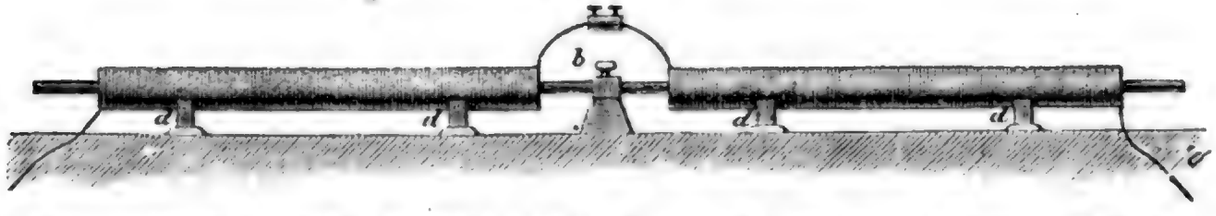
Unter denſelben Umſtänden geben Drähte von anderen Metallen keinen Ton.

Theorie des galvaniſchen Tönens. Wertheim ſucht die beſpro- 240
chenen Erſcheinungen durch mechaniſche Wirkungen des Stromes zu erklären. Er ſagt in der Einleitung des citirten Aufſatzes: »Können wir »beweiſen, daß der Strom, der äußere wie der durchgeleitete, eine plötz»liche Formveränderung, einen inſtantanen Stoß im Eiſen bewirkt; kön»nen wir beſtimmen, in welcher Richtung dieſer mechaniſche Effect ſtatt»findet; können wir überdies zeigen, daß derſelbe Effect in derſelben Rich»tung von einer andern rein mechaniſchen Kraft erzeugt, denſelben Ton

»wie der Strom hervorbringt: ſo wird es unnöthig ſeyn, zur Erklärung »des Phänomens irgend eine beſondere Hypotheſe aufzuſuchen, denn offen»bar entſpringt er dann aus den Schwingungen, welche jede plötzliche »Formveränderung begleiten, und die Meinungen können nur darin ab»weichen, auf welche Weiſe der Strom dieſen mechaniſchen Stoß hervor»bringe.«

Um die mechaniſchen Wirkungen des Stromes auf eine Eiſenſtange zu unterſuchen, wandte Wertheim einen Apparat an, deſſen Einrichtung mittelſt der in Fig. 230 abgebildeten Vorrichtung erläutert werden kann. Die Eiſenſtange war auf dieſelbe Weiſe befeſtigt, nur war der Ständer *b* höher, ſo daß eine Drahtrolle von größerem Durchmeſſer in Anwen»

Fig. 230.



dung gebracht werden konnte. Die zu dieſen Verſuchen dienende Draht»rolle hielt 1336 Meter Kupferdraht von 2,5 Millimeter Durchmeſſer, ſie hatte eine Länge von 25 Centimeter und 18 Centimeter innerem Durch»meſſer. An den Enden des Stabes waren Mikroſkope mit Fadenkreuzen angebracht, durch welche die geringſte Ortsveränderung des Stabes beobach»tet werden konnte.

Die Reſultate ſind am deutlichſten, wenn ſich die Drahtſpirale möglichſt nahe am freien Ende des Stabes befindet.

Wenn die Stabaxe genau mit der Axe der Drahtrolle zuſammenfiel, beobachtete man keine Seitenbewegung, ſondern nur eine ſehr kleine Verlängerung, welche Wertheim einem longitudinalen Zug zuſchreibt. Dieſe Verlängerung ging ſelten über 0,002 Millimeter, und war, obwohl ſichtbar, doch faſt unmeßbar.

Nach Joule's Meſſungen beträgt die Verlängerung eines bis zur Sättigung magnetiſirten Eiſenſtabes $^1/_{270000}$ ſeiner Länge (Phil. Magazine, Februar und April 1847).

Verſchob man die Drahtrolle parallel mit ſich ſelbſt, ſo daß ſich der Stab nicht mehr in ihrer Axe befand, ſo blieb die Verlängerung, allein ſie war von einer weit bedeutenderen Seitenbewegung begleitet Bei einem quadratiſchen Stabe, deſſen Seite 1 Centimeter und deſſen Länge vom Einſpannungspunkt bis zum Ende 997 Millimeter betrug, erreichte dieſe Seitenbewegung die Größe von 0,788 Millimetern, als der Stab 80 Millimeter aus dem Mittel der Spirale gerückt war. Unter gleichen Um»ſtänden betrug die Seitenbewegung eines mit ſeiner breiten Seite aufrecht

geſtellten 12^{mm} breiten und 3,375^{mm} dicken Streifens von Eiſenblech 5,121^{mm} und 2,322^{mm} bei einem quadratiſchen Stabe von 5^{mm} Seite.

Durch dieſe Verſuche iſt nachgewieſen, daß der durch einen Schraubendraht gehende Strom auf einen innerhalb deſſelben befindlichen Eiſenſtab oder Eiſendraht einen mechaniſchen Zug ausübt, welchen man als Reſultante einer longitudinalen und einer transverſalen Componente betrachten kann. Die im Sinne der Axe der Spirale wirkende Kraft iſt es, welche den longitudinalen Ton erzeugt.

Der durchgeleitete Strom erzeugt in dem eiſernen Leiter, den er durchläuft, einen plötzlichen Stoß, welcher nur den longitudinalen Ton erzeugen kann, weshalb der transverſale Ton gar nicht durch den durchgeleiteten Strom erzeugt wird.

De la Rive iſt nun anderer Meinung, er ſieht in der Tonbildung durch den galvaniſchen Strom ein molekulares Phänomen, und glaubt, daß es zum Beweis zweier wichtiger Sätze führe.

1) Der Uebergang des Stromes modificirt, ſelbſt in ſtarren Subſtanzen, die Anordnung der Theilchen.

2) Die Wirkung des Magnetismus, unter welcher Form ſie auch ausgeübt werden möge, modificirt ebenfalls die Conſtitution aller Körper, und dieſe Modification dauert ſo lange als die ſie erzeugende Urſache, und verſchwindet auch mit ihr.

Dieſe widerſprechenden Anſichten über die Urſache der galvaniſchen Tonbildung gaben Veranlaſſung zu einer Discüſſion, welche in den Comptes rendus (T. XXII, p. 428 und 544) geführt wurde. Wir können hier wohl um ſo eher über dieſe Controverſe weggehen, als man über die Identität des Phänomens, welches erklärt werden ſoll, noch keineswegs im Reinen iſt, denn daß De la Rive vielfach mit anderen Erſcheinungen zu thun hatte, als diejenigen, welche Wertheim unterſucht hat, unterliegt wohl keinem Zweifel.

Einfluß des galvaniſchen Stroms und des Elektromagnetismus auf die Elaſticität der Metalle. 241 Ueber dieſen Gegenſtand hat Wertheim Verſuche angeſtellt, welche ihn zu folgenden Reſultaten führten. (Ann. de chem. et de phys. Sér. III. T. XII, p. 610. — P. A. Ergänzungsband v. 1848. S. 99.)

1) Der galvaniſche Strom bewirkt in den von ihm durchlaufenen Metalldrähten eine momentane Verringerung des Elaſticitätscoefficienten, und zwar vermöge ſeiner eigenen Wirkung, unabhängig von der Verringerung, welche durch die Temperaturerhöhung entſteht. Dieſe Verringerung verſchwindet gänzlich mit dem Strom, wie lange er auch gewirkt haben mag.

2) Die Größe dieser Verringerung hängt von der Stromstärke und wahrscheinlich auch von dem Leitungswiderstand des Metalles ab.

3) Die Cohäsion der Drähte wird durch den Strom verringert; die Veränderlichkeit dieser Verringerung erlaubt jedoch nicht zu unterscheiden, ob sie eine eigene Wirkung des Stromes sey, oder nur eine Folge der Temperaturerhöhung.

4) Die Magnetisirung durch einen continuirlichen Strom bewirkt im weichen Eisen und im Stahl eine kleine Verringerung des Elasticitätscoefficienten, und diese Verringerung bleibt zum Theil selbst nach der Unterbrechung des Stromes.

242 **Elektromagnetische Rotation des Queckſilbers.** Ueber diese interessante Erscheinung hat Poggendorff in seinen Annalen (LXXVII, 1) einige neue Beobachtungen publicirt. Der Beschreibung seiner Versuche geht eine kurze historische Einleitung voraus, aus welcher, der besseren Orientirung wegen, das Wichtigste hier Platz finden mag.

Humphry Davy hat zuerst die Rotation eines beweglichen Leiters um einen Magnetpol beobachtet, nämlich die Rotation des galvanischen Flammenbogens. (Hiernach ist die auf Seite 416 gemachte Mittheilung zu berichtigen, wonach Walcker die erste Notiz von der Rotation des Flammenbogens gegeben habe.) Er beschrieb die Erscheinung in einer am 5. Juli 1821 in der königlichen Gesellschaft zu London gelesenen Abhandlung, ging indeß so kurz über dieselbe weg, daß sie wohl nicht viel Beobachtung gefunden haben würde, wenn nicht Faraday im September desselben Jahres in der Wechselwirkung eines starren Stromleiters und eines Magnetstabes ein viel einfacheres und mannichfacher Abänderungen fähiges Mittel zur Hervorbringung continuirlichen Rotationen des Leiters oder des Magneten kennen gelehrt hätte. Schon im November darauf wurde diese wichtige Entdeckung auf die Fälle ausgedehnt, wo der Magnetstab entweder durch den Erdmagnetismus oder durch einen zweiten starren Stromleiter ersetzt ist. — Im Jahre 1823 zeigt Humphry Davy, daß auch ein flüssiger metallischer Leiter, Queckſilber oder geschmolzenes Zinn, unter gleichen Umständen wie ein starrer in elektromagnetische Drehung versetzt werden kann, eine Thatsache, welche späterhin auch bei nicht metallischen flüssigen Leitern nachgewiesen wurde.

So rasch dieser Kreis von Erscheinungen in experimenteller Hinsicht durchforscht worden ist, so schnell hat er auch in theoretischer Beziehung seine Erledigung gefunden. Ampère, obwohl die continuirlichen Rotationen nicht voraussehend, hat sie sehr bald auf die von ihm entdeckten elektrodynamischen Gesetze zurückgeführt, und wenn auch seine Erklärung nicht vollständig ist, so enthält sie doch die Grundzüge der richtigen Theorie.

Davy stellte seine Versuche zuerst in der Art an, daß er in eine mit Queckſilber gefüllte Schale die beiden Poldrähte einer ſehr kräftigen Volta'ſchen Batterie lothrecht hinabgehen ließ, und nun von unten oder oben her einen Magnetpol näherte. — Das Queckſilber rotirte um die beiden Drähte in entgegengeſetzter Richtung.

Hierauf leitete er die beiden Drähte von unten her, durch den Boden der Schale, und überzog dieſelben ſo weit mit Siegellack, daß nur ihre zuvor abgeflachten und polirten Enden entblößt blieben und mit dem Queckſilber in Berührung kamen, von welchem ſie nur etwa eine Linie hoch bedeckt wurden. Jetzt kam die Rotation des Queckſilbers auch ohne Magnet, nur nicht ſo ſtark, zum Vorſchein, und über den beiden Drahtenden zeigte ſich eine Hebung des Queckſilbers von 1 bis 2 Linien, es bildeten ſich alſo zwei Kegel, von deren Gipfel das flüſſige Metall fortwährend nach allen Seiten abfloß. Durch die Annäherung eines Magnetpoles von oben her konnten dieſe Kegel bis zum Spiegel des Queckſilbers abgeflacht, ja ſogar eine Vertiefung hervorgebracht werden, während die Maſſe zugleich ſchneller herumwirbelte.

Nach Poggendorff's Anſicht, entſpringt die Hebung des Queckſilbers über den Enden der Polardrähte, aus der Repulſion, welche, nach Ampère's Theorie, die Theile eines Stromes in der Richtung ſeiner ſelbſt, auf einander ausüben.

Die Depreſſion des Queckſilbers, welche durch einen Magnetpol hervorgebracht wird, erklärt ſich einfach durch die bei der raſchern Rotation kräftiger wirkende Centrifugalkraft.

Um dieſe Depreſſion auch mit geringeren Mitteln hervorzubringen, verfuhr Poggendorff folgendermaßen: In ein Uhrglas oder Porcellanſchälchen wird etwa eine Unze Queckſilber gegoſſen und das Gefäß auf eine verticalſtehende Drahtrolle geſetzt, die einen Eiſenkern umſchließt; für dieſe Drahtrolle kann man natürlich auch den einen Schenkel eines Uförmigen Elektromagneten in Anwendung bringen, deſſen Pole nach oben ſtehen. — In das flüſſige Metall werden nun zwei Drähte von Eiſen oder Platin eingetaucht, der eine nahe am Rande, der andere in der Mitte der runden Maſſe, und zwar der letztere ſo, daß er nur etwa $\frac{1}{2}$ Linie in das Queckſilber eintaucht. Werden nun die erforderlichen Verbindungen gemacht, um den Strom einer galvaniſchen Kette durch die Windungen der Magnetiſirungsſpirale und dann durch den einen der beſprochenen Drähte in das Queckſilber ein-, durch den andern Draht herauszuleiten, ſo tritt beim Schließen der Kette ſogleich eine lebhafte Rotation des Queckſilbers ein.

Im erſten Moment geſchieht die Rotation um beide Drähte in entgegengeſetzter Richtung, aber bald überwiegt die um den centralen Draht,

wegen seiner vortheilhaftern Stellung, und nun hat man also nur eine einzige Rotationsrichtung. In Folge der durch diese Rotation erzeugten Centrifugalkraft senkt sich das Quecksilber in der Mitte, und wenn der centrale Draht nicht zu tief eingetaucht ist, kommt bald ein Moment, wo das Quecksilber sich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Quecksilbers nimmt nun allmälig ab, es steigt in der Mitte, bis es endlich wieder mit dem neutralen Draht in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geschwindigkeit von Neuem beginnt.

Bei diesem Vorgang hat man zu bemerken Gelegenheit, daß allemal, wenn das Quecksilber den centralen Draht verläßt, ein Funken erscheint, niemals aber, wenn es wiederum mit ihm in Berührung tritt, was augenscheinlich beweist, daß der so häufig besprochene galvanische Schließungsfunken nicht existirt.

Ferner beobachtete Poggendorff bei dieser Rotation des Quecksilbers noch folgende merkwürdige Erscheinung. Als der centrale Draht so tief eingesenkt war, daß eine Trennung des Quecksilbers von demselben nicht stattfand, dauerte die Rotation des Quecksilbers je nach Umständen 5, 10 oder 15 Minuten unverändert fort. Nach und nach verlangsamt sich aber die Geschwindigkeit, die Theilchen rotiren nicht mehr getrennt, mit ungleicher Geschwindigkeit, wie Anfangs, sondern gleichsam zusammenhängend, wie wenn die Oberfläche des Quecksilbers eine starre Scheibe bildete. Immer träger wird die Rotation dieser Scheibe, und am Ende hört sie ganz auf. Dabei hat der Strom, wie man sich leicht überzeugen kann, nichts von seiner Stärke verloren; ja man kann ihn sogar verstärken, ohne daß sich das Quecksilber wieder in Bewegung setzt. Poggendorff überzeugte sich, daß dies Phänomen seinen Sitz nur an der Oberfläche, nicht in der Masse des Quecksilbers habe, denn wenn man unter gehörig schiefem Winkel auf das Metall blickt, so erkennt man deutlich an einer gewissen Wellenbewegung, daß die Rotation im Innern der Masse unverändert fortdauert. Es ist also klar, daß bloß die Oberfläche des Quecksilbers eine Veränderung erlitten haben mußte.

Für diese Ansicht spricht auch der Umstand, daß unbeweglich gewordenes Quecksilber, in einer Flasche geschüttelt, seine frühere Beweglichkeit wieder erhält.

Um zu untersuchen, ob auch wässerige Flüssigkeiten eine ähnliche Verfestigung ihrer Oberfläche erleiden, bediente sich Poggendorff eines dem frühern ähnlichen Apparates, nur daß die beiden Poldrähte durch zwei winkelförmige Metallstreifen ersetzt wurden, deren horizontale Schenkel ringförmig gekrümmt waren. Der eine dieser Ringe schloß dicht an den Rand des etwa 2 Zoll im Durchmesser haltenden Schälchens, der

andere ſtand in der Mitte deſſelben und hatte ungefähr 3 Linien im Durchmeſſer. Bei Verbindung der lothrechten Schenkel mit der Batterie ging der Strom durch die Flüſſigkeit radialiter, entweder vom kleineren zum größeren Ringe, oder umgekehrt. Ein Verſuch wurde mit verdünnter Schwefelſäure und Ringen von amalgamirtem Zink, ein anderer mit Kupfervitriol-Löſung und Ringen von Kupfer angeſtellt.

Beide Flüſſigkeiten nahmen ſchon mit Hülfe des Stromes eines einzigen Grove'ſchen Bechers eine lebhafte Rotation an, welche durch aufgeſtreutes Lycopodium deutlich zu erkennen war. Nach 24 Stunden hatte die Rotationsfähigkeit der Oberfläche noch nichts an ihrer Stärke verloren.

Um von dem rötirenden Queckſilber die Luft abzuhalten, übergoß Poggendorff daſſelbe einige Linien hoch ſucceſſiv mit Mandelöl, Terpentinöl, Schwefelkohlenſtoff, Aether, Alkohol und deſtillirtem Waſſer. Unter dieſen entweder gar nicht oder doch nur ſehr ſchlecht leidenden Flüſſigkeiten kam die Oberfläche des Queckſilbers nicht zur Rotation; wurden aber dem Waſſer einige Tropfen Säure oder etwas Salz zugeſetzt, ſo ſtellte ſich ſogleich die Rotation des Queckſilbers ein, während auch die wäſſerige Flüſſigkeit rotirte.

Um den Einfluß von Dämpfen auf die Rotation des Queckſilbers zu unterſuchen, wurden die Zuleitungsdrähte durch Oeffnungen in der Seitenwand des Schälchens eingeführt und durch Korke feſtgehalten. Ein Stück Fließpapier mit der erforderlichen Flüſſigkeit benetzt, wurde über den Rand des Gefäßes ausgebreitet und mit einer Glasplatte bedeckt. Auf dieſe Weiſe konnte die Luft über dem Queckſilber mit verſchiedenen Gaſen und Dämpfen geſchwängert werden.

Terpentinöl-, Alkohol- und Schwefelkohlenſtoffdämpfe gaben keine entſchiedene Wirkung; dagegen hatte Ammoniakgas eine ſo zu ſagen tödtende Wirkung auf die Queckſilberoberfläche, indem dieſelbe viel ſchneller als in Luft allein zur Ruhe kam, ohne daß jedoch der Glanz der Queckſilberoberfläche abgenommen hätte.

Noch ſchneller wirkte Schwefeläther; nur wenige Augenblicke brauchte das mit Aether benetzte Papier die Schale zu überdecken, um eine vollſtändige Tödtung der Queckſilberoberfläche zu veranlaſſen, wobei dieſe übrigens ſpiegelblank blieb.

Als ein Stück Phosphor in der Schale aufgehängt wurde, füllte ſie ſich bald mit dem bekannten Nebel, der ſich ſenkte und der Queckſilberoberfläche ſchnell ihre Beweglichkeit raubte.

In entgegengeſetzter Weiſe wirken die Dämpfe flüchtiger Säuren, wie Eſſigſäure, Salzſäure, Salpeterſäure. Ueber einer an der Luft, in Ammoniakgas oder Aetherdampf unbeweglich gewordenen Queckſilber-

fläche braucht nur wenige Augenblicke ein mit ſolcher Säure benetztes Papier ausgebreitet zu werden, um ihr die urſprüngliche Beweglichkeit wieder zu geben. Es iſt dies um ſo auffallender, als in dem Dampf der Salpeterſäure und auch der Salzſäure die Queckſilberoberfläche nicht blank bleibt, ſondern anläuft. Aetherdampf vernichtet die nun eingetretene Lebendigkeit nicht, wohl aber Ammoniakgas.

Waſſerdampf hat keine Wirkung. Ebenſo iſt eine Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit oder eine Austrocknung derſelben durch concentrirte Schwefelſäure ohne allen Einfluß.

Der Apparat wurde nun ſo eingerichtet, daß die über dem Queckſilber befindliche Luft ausgepumpt und durch verſchiedene Gaſe erſetzt werden konnte.

Kohlenſäure und Waſſerſtoffgas zeigten ſich indifferent. Sauerſtoffgas wirkte etwas ſchneller tödtend als atmoſphäriſche Luft. In dem Vacuum, welches eine Handluftpumpe zu liefern im Stande iſt, behielt die Queckſilberfläche mehr als 12 Stunden lang ihre volle Beweglichkeit. Eine unbeweglich gewordene Queckſilberoberfläche wird im Vacuum nicht wieder beweglich.

Poggendorff iſt der Meinung, daß eine ſehr dünne, für das Auge unwahrnehmbare Oxyd- oder Oxydulſchicht als Urſache der relativen Unbeweglichkeit der Oberfläche anzuſehen ſey.

Siebenter Abschnitt.

Elektrodynamik.

Magnetisches Moment eines Kreisstromes. Das Moment ei- 243
nes Kreisstromes ist, wie wir auf S. 243 gesehen haben,

$$G = \pi r^2 g,$$

wenn g die Stromstärke nach der Weber'schen Stromeinheit bezeichnet; nach unserer Stromeinheit haben wir

$$G = \pi r^2 s \,.\, 1{,}0477,$$

wenn s die Stromstärke nach chemischem Maaß bezeichnet. Um die Kraft zu erhalten, mit welcher der Erdmagnetismus diesen Kreisstrom zu drehen strebt, wenn seine Ebene in dem magnetischen Meridian fällt, haben wir G noch mit dem horizontalen Theil des Erdmagnetismus, also mit T zu multipliciren, wir erhalten also für diesen Drehungsmoment

$$T\pi r^2 s \,.\, 1{,}0477.$$

Hier ist aber für G und T noch das Weber'sche absolute Maaß als Einheit angenommen, soll dieses Drehungsmoment auf die Schwerkraft reducirt werden, so haben wir obigen Werth noch mit 9808 zu dividiren, und so kommt

$$D = \frac{T\pi r^2 s \,.\, 1{,}0477}{9808} = 0{,}0003432\, T r^2 s.$$

Dieser Werth von D giebt in Milligrammen die an einem Hebelarm von 1^{mm} wirkende Kraft an, mit welcher der Erdmagnetismus einen Kreisstrom von der Stromstärke s (nach chem. Maaß) zu drehen strebt, dessen Radius r ist, wenn T den in absolutem Maaß ausgedrückten Werth des horizontalen Theiles der magnetischen Erdkraft bezeichnet.

Nehmen wir z. B. an, durch 100 Windungen eines übersponnenen Kupferdrahtes sey ein leicht um eine verticale Axe drehbarer Ring gebildet, dessen Halbmesser im Mittel gleich 100^{mm} ist; der Strom, welcher diese

Drahtwindungen durchläuft, habe nach chemiſchem Maaß die Stärke 10, ſo ergiebt ſich für jede Windung $D = 75{,}5^{mg}$ $(T = 2{,}2)$, für alle zuſammen alſo iſt

$$D = 7550^{mg}$$

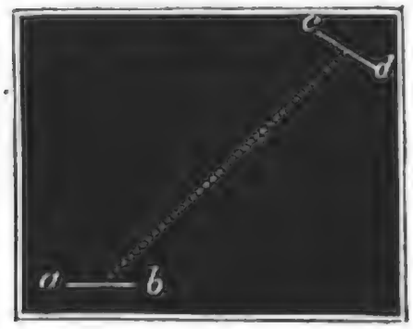
Der Erdmagnetismus ſtrebt alſo, den Ring, wenn er auf die fragliche Weiſe durchſtrömt iſt und ſeine Ebene in dem magnetiſchen Meridian fällt mit einer am Hebelarm 1^{mm} angreifenden Kraft von 7550 Milligramm, oder, was daſſelbe iſt, mit einem am Umfang des Ringes wirkenden Kraft von 75,5 Milligramm zu drehen.

244 **Weber's elektrodynamiſche Maaßbeſtimmungen.** Das Geſetz, nach welchem die Theilchen ab und cd zweier Stromleiter auf einander wirken, iſt nach Ampère durch die Gleichung

$$-\frac{i\,i'}{r^2}\,(cos.\,\varepsilon - {}^3/_2\,cos.\,\Theta\,cos.\,\Theta')\,ss'$$

ausgedrückt, d. h. dieſe Gleichung drückt die Größe der Kraft aus, mit welcher die beiden Stromelemente (die jedoch nicht in einer Ebene zu liegen brauchen) auf einander in der Richtung derjenigen Linie wirken, welche ihre Mittelpunkte verbindet, vorausgeſetzt, daß r die Entfernung dieſer Mittelpunkte, i die Stromſtärke in dem einen, i' die im anderen Stromelemente, s aber die Länge des einen, s' die des anderen Stromelementes bezeichnet. Es iſt ferner ε der Winkel, welchen cd mit ab macht, Θ der Winkel, welchen das eine, Θ' der Winkel, welchen das andere Stromelement mit ihrer Verbindungslinie macht.

Fig. 231.



Ampère hat ſeine Theorie aus verhältnißmäßig ſehr mangelhaften Verſuchen abgeleitet; oft hat er auf negative Reſultate gebaut und alle ſeine Verſuche ſind nur qualitativer, nicht quantitativer Natur. Für eigentliche Meſſungen waren ſeine Apparate freilich nicht brauchbar.

Seit Ampère iſt zur experimentellen Begründung und Fortbildung nichts weiter gethan worden, bis W. Weber den Gegenſtand wieder aufnahm und durch ſeine ausgezeichneten Arbeiten eine merkliche Lücke in der Wiſſenſchaft ausfüllte.

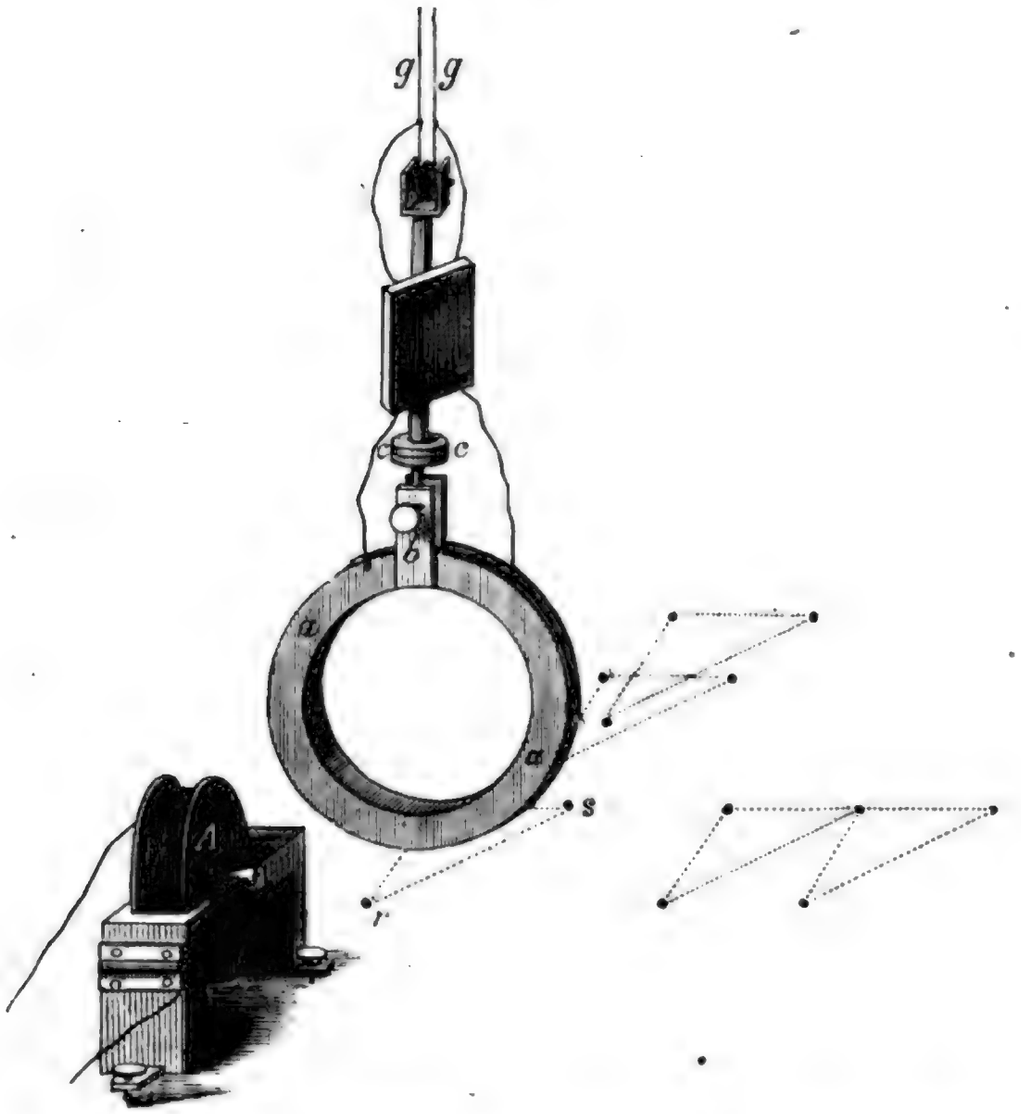
W. Weber's elektrodynamiſche Maaßbeſtimmungen finden ſich ausführlich in den von der Jablonowskiſchen Geſellſchaft bei Begründung der königl. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften herausgegebenen Abhandlungen (Leipzig 1846); kürzer in Poggendorff's Annalen, Bd. LXXIII, S. 193.

Digitized by Google

Der Hauptgrund, weshalb sich die Ampère'schen Apparate nicht zu Messungen überhaupt, am wenigsten aber nicht zu feineren Messungen eignen, liegt darin, daß die Reibung, welche der bewegliche Stromleiter zu überwinden hat, viel zu bedeutend ist. Weber hat diese Schwierigkeit dadurch umgangen, daß er eine Drahtrolle bifilar aufhing und die beiden Aufhängungsdrähte als Zuleitung für den galvanischen Strom benutzte.

Eine der einfacheren Formen einer solchen Bifilarrolle sieht man in Fig. 232 abgebildet. Die Bifilarrolle *a* besteht aus einem dünnen

Fig. 232.



Messingringe von 100mm Durchmesser und 30mm Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123mm äußerem und 100mm innerem Durchmesser verbindet, und in 30mm Abstand von einander hält. Auf jenem Messingring zwischen den beiden Scheiben ist ein Kupferdraht von $\frac{1}{3}$mm Durchmesser, der mit Seide übersponnen ist, ungefähr 3000 mal herum-

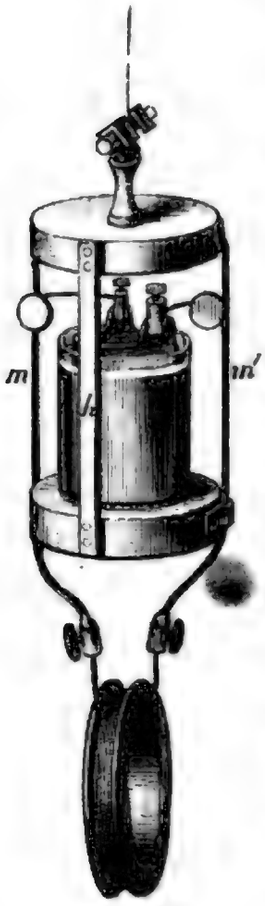
gewunden, ſo daß er den Zwiſchenraum zwiſchen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes wurden die beiden Meſſingſcheiben durch eine meſſingene Klemme *b* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torſionskreis *c* trägt. Er beſteht aus zwei (bei verticaler Stellung der Biſilarrolle) horizontalen Scheiben, von denen die untere mit der Biſilarrolle feſt verbunden iſt, während die obere ſich um eine verticale Axe drehen läßt. Der Torſionskreis dient dazu, die Biſilarrolle beliebig drehen und in die erforderliche Stellung bringen zu können, ohne die Aufhängedrähte aus ihrer parallelen Lage zu bringen. Die obere Scheibe des Torſionskreiſes trägt einen hölzernen Zapfen, welcher am oberen Ende eine Gabel mit einer ſehr beweglichen 20^{mm} Durchmeſſer haltenden Rolle trägt. Unter dieſe Rolle iſt ein ſeidener Faden weggeführt, welcher zu beiden Seiten der Rolle ſenkrecht nach oben geht und auf beiden Seiten etwas über der Rolle an den beiden Suspenſionsdrähten *g g* angeknüpft iſt. Mit den beiden Enden der Suspenſionsdrähte ſind nun noch die beiden Drahtenden der Rolle in Verbindung gebracht, ſo daß der galvaniſche Strom, in einem Aufhängedraht herunterſteigend, in die Drahtrolle übergeht und nachdem er ihre Windungen durchlaufen hat, im anderen Suspenſionsdraht aufſteigend zurückkehrt. Die beiden Suspenſionsdrähte ſind an zwei an der Decke befindlichen iſolirten Haken befeſtigt, durch welche die Zuleitung des Stromes ſtattfindet. Die Aufhängedrähte ſind von Kupfer und bei 1 Meter Länge $^1/_6{}^{mm}$ dick.

Bei den Weber'ſchen Verſuchen wurde die Axe der Biſilarrolle in den magnetiſchen Meridian gebracht, ſo alſo, daß ihre Ebene rechtwinklig auf demſelben ſtand. An dem Holzzapfen iſt ein Spiegel befeſtigt, ſo daß man die Ablenkung der Rolle aus dieſer Gleichgewichtslage mit einem Fernrohr auf die bekannte Weiſe ableſen kann.

Der Benennung eines aufgehängten Magnetſtabes (Magnetometer) entſprechend, nennt Weber eine durch ihre Aufhängung leicht bewegliche, den Strom leitende Drahtrolle ein Dynamometer. Das eben beſchriebene iſt ein Biſilar-Dynamometer, die folgende in Figur 233 abgebildete Einrichtung dagegen entſpricht dem gewöhnlichen Magnetometer. Das Weſentliche derſelben beſteht darin, daß der kreisförmig gewundene Leiter ſammt dem Elektromotor, von welchem der Strom ausgeht, an einem Faden oder Drahte aufgehangen wird. Ein kleiner Grove'ſcher Becher ſteht zwiſchen zwei Holzplatten, welche durch zwei Meſſingſtäbchen *m m'* und einem Holzſtab *h* mit einander verbunden ſind; die dem Stab *h* gegenüber liegende Seite bleibt frei, damit man den Becher bequem einſtellen kann. In eine Verſtärkung der Stäbchen *m* und *m'* ſind die zum poſitiven und negativen Pol führenden Drahtſtücke eingeſchraubt. Die Verlängerungen von *m* und *m'* tragen die Drahtrolle.

Diese Vorrichtungen lassen sich gewiß durch geeignete Abänderungen auch in solche Formen bringen, die zwar weniger zu feinen Messungen geeignet sind, aber sehr gut zu Vorlesungsversuchen statt des Ampère'schen Apparates dienen können.

Fig. 233



Wenn ein galvanischer Strom das Bifilar-Dynamometer durchläuft, so wird es aus seiner oben bezeichneten Gleichgewichtslage abgelenkt werden, sobald man ihm einen Magnetstab oder auch eine zweite galvanisch durchströmte Drahtrolle nähert.

Die feste Drahtrolle, durch welche Weber auf die Bifilarrolle einwirkte, ist gleichfalls in Fig. 232 abgebildet. Sie besteht aus zwei dünnen parallelen Messingplatten von 89 Millimeter Durchmesser, welche von einer $5\frac{1}{2}$ Millimeter dicken messingenen Axe in 30^{mm} Abstand von einander festgehalten werden; diese Axe ragt auf beiden Seiten um 10^{mm} vor. Auf dem zwischen den beiden Scheiben befindlichen Theil der Axe ist ein mit Seide übersponnener $\frac{1}{3}^{mm}$ dicker Kupferdraht ungefähr 1000 mal herumgewunden, so daß er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt.

Zur festen Aufstellung dieser Rolle dient ein hölzernes Gestell, welches auf Füßen mit Stellschrauben steht. Der vordere Fuß dieses Gestelles kann mittelst eines Charnieres aufgeschlagen und dann die feste Rolle in die bewegliche eingeschoben und so aufgestellt worden, daß die drei Stellschrauben auf die Punkte r, s, t der Tischplatte zu stehen kommen (t ist in der Figur verdeckt). Bei dieser Stellung fallen die Mittelpunkte der festen und der beweglichen Rolle zusammen. Man kann aber auch die feste Rolle nördlich (wie es in der Figur der Fall ist) oder südlich, östlich oder westlich aufstellen. Um die feste Rolle jederzeit leicht in bestimmten Entfernungen von der beweglichen aufstellen zu können, sind auf der Tischplatte, wie es die Figur andeutet, eine Reihe von Punkten bezeichnet, auf welche man nur die drei Stellschrauben zu setzen braucht, damit der Mittelpunkt der festen Rolle in den erwähnten Richtungen 300, 400, 500 oder 600 Millimeter weit von dem Mittelpunkte der beweglichen entfernt ist.

Eine erste Beobachtungsreihe wurde bei derjenigen Stellung der festen Rolle gemacht, für welche die Mittelpunkte beider Rollen zusammenfallen. Ein und derselbe Strom wurde durch die Bifilarrolle und dann durch die feste Rolle hindurch geleitet und die Stärke des Stromes durch die Ablenkung gemessen, welche die feste Rolle an einem nördlich oder südlich

angebrachten Magnetometer bewirkt. Die Anordnung des Verſuchs iſt aus Fig. 235 erſichtlich. *b b* iſt die Biſilarrolle, *f f* die feſte Rolle und *m* das

Fig. 234.

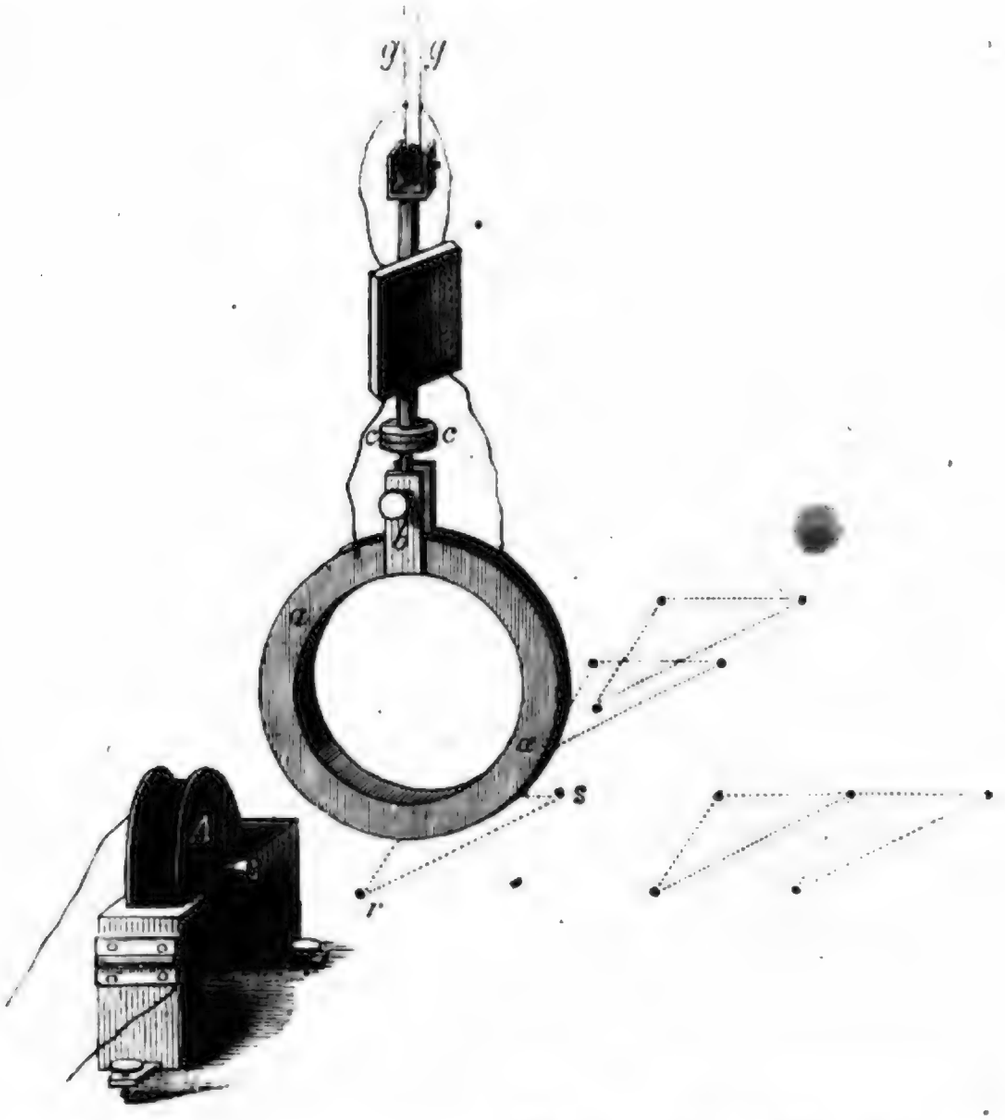
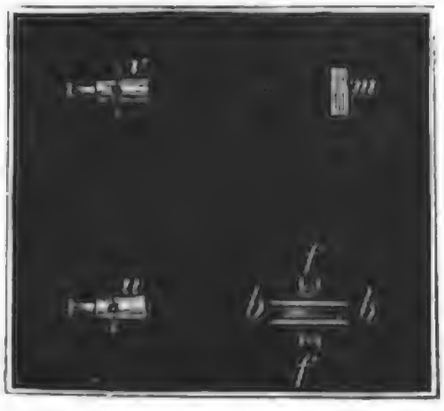


Fig. 235.



Magnetometer, während bei *u* und *v* Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Drehung von *b* und *m* aufgeſtellt ſind.

Wenn der Strom von 1 bis 3 Grove'ſchen Bechern gleichzeitig durch beide Rollen geht, ſo wird die Ablenkung der Biſilarrolle ſo groß, daß ſie weit über die Gränzen der Beobachtungsſkale hinausgeht, während der Strom der feſten Rolle an dem Magnetometer eine

für die Messung ganz geeignete Ablenkung hervorbringt. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, brachte Weber an den Zuleitungsdrähten für die Bifilarrolle eine Nebenschließung an, durch welche die Stromstärke in der Bifilarrolle im Verhältniß von 246,26 zu 1 vermindert wurde, während der Strom in der festen Rolle unverändert bleibt. Freilich ist jetzt die Stromstärke in beiden Rollen nicht mehr dieselbe, die Stromstärke der einen steht aber in einem constanten Verhältniß zu der in der anderen

Bei Anwendung von 1, 2 und 3 Grove'schen Bechern wurden für die correspondirenden Ablenkungen der Bifilarrolle und des Magnetometers nach den erforderlichen Reductionen folgende Mittelwerthe erhalten:

Zahl der Grove'schen Becher.	Ablenkungen	
	des Magnetometers.	des Dynamometers.
3	108,43	440,04
2	72,40	198,25
1	36,33	50,91

Bezeichnet man die Ablenkungen der Bifilarrolle mit δ, die des Magnetometers mit γ, so ergiebt sich

$$\gamma = 5{,}15534 \sqrt{\delta},$$

denn berechnet man nach dieser Formel die Werthe von γ aus den beobachteten Werthen von δ, so erhält man der Reihe nach

108,14
72,59
36,77,

was mit den beobachteten Werthen so nahe zusammenfällt, daß die Differenzen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen:

Daraus folgt nun, daß die elektrodynamische Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte auf einander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist, wie es in dem Grundprincip der Elektrodynamik vorausgesetzt ist.

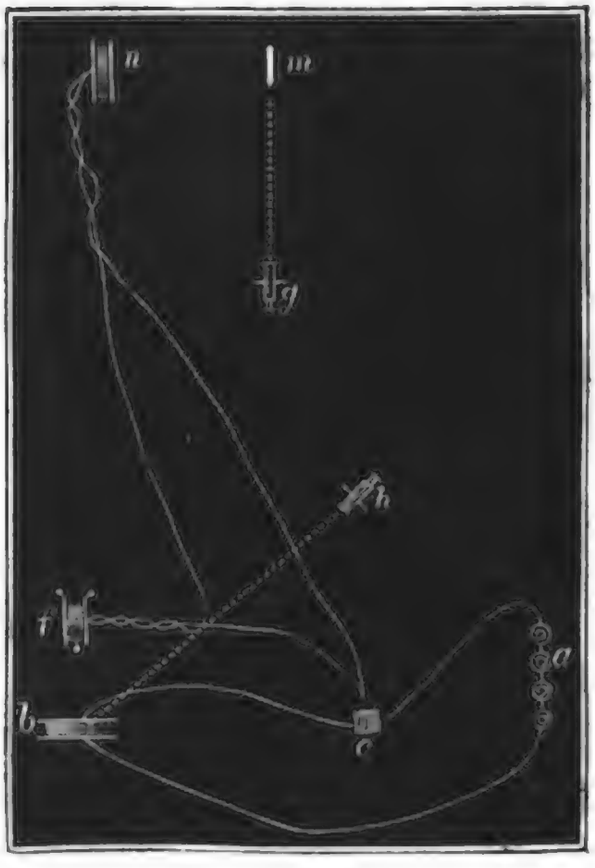
Hierauf folgte nun eine größere Versuchsreihe, um zu erforschen, auf welche Weise die elektrodynamische Kraft, mit welcher die beiden Rollen

auf einander wirken, von ihrer gegenſeitigen Lage und Entfernung abhängt.

Zu dieſem Zweck wurde die feſte Rolle der Reihe nach nördlich, öſtlich, ſüdlich und weſtlich von der Bifilarrolle aufgeſtellt, wie dies ſchon oben auseinandergeſetzt worden iſt. Dieſes Syſtem der Anordnung verſchiedener Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entſpricht, wie man leicht ſieht, genau dem Syſtem der Anordnung verſchiedener Lagen und Entfernungen der beiden Magnete, welche Gauß ſeinen Meſſungen zu Grunde gelegt hat, um das Grundprincip des Magnetismus zu erweiſen. Der bifilar aufgehangene Ring vertritt hierbei die Stelle des Magnetometers oder der Magnetnadel, die feſte Rolle die Stelle des Ablenkungsſtabes.

Gleichzeitig mit den Ablenkungen des Dynamometers muß aber auch die Stromſtärke gemeſſen werden. Auf die bei der vorigen Verſuchsreihe angewandte Weiſe kann dies hier nicht geſchehen, weil die Stellung der feſten Rolle verändert wird; es wurde deshalb der Strom auch noch durch eine dritte unveränderlich feſt ſtehende Drahtrolle geführt und die Ablenkung gemeſſen, welche dieſe an einem Magnetometer bewirkt. Die ganze Anordnung iſt aus Fig. 236 zu erſehen.

Fig. 236.



b iſt die Bifilarrolle, *f* die feſte Rolle, *m* ein Magnetometer, welches 8 Meter weit von *b* entfernt iſt, *n* eine dritte, gleichfalls feſt aufgeſtellte Rolle von 618 Windungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirkt. Der Strom geht von dem einen Pole der galvaniſchen Säule *a* zur Bifilarrolle, von dieſer zum Commutator *c*, dann über die Rolle *f* zur Rolle *n*, von dieſer zurück zum Commutator und von dieſem endlich zum anderen Pol der Säule.

Durch den Commutator kann alſo die Stromrichtung in *f* und *n* geändert werden, während ſie in der Bifilarrolle *b* ſtets dieſelbe bleibt.

Es wurde nun bei jeder gegenſeitigen Lage und Entfernung der beiden

Drahtrollen *f* und *b* die Stellung von *m* und *b* für die eine Stromrichtung ermittelt, dann der Strom in *f* und *n* mittelst des Commutators umgekehrt und nochmals die Stellung von *b* und *m* abgelesen. Die Differenz der beiden Ablesungen am Magnetometer ist dann das Maaß für die Stromstärke, die Differenz der beiden Ablenkungen am Dynamometer geben ein Maaß für die Kraft, mit welcher die beiden Drahtrollen *b* und *f* auf einander wirken.

Da wir nun wissen, daß die elektrodynamische Wirkung der beiden Drahtrollen auf einander dem Quadrat der Stromstärke proportional sind, so ist man, vermöge der am Magnetometer gemachten Messungen der Stromstärke, im Stande, die gemessenen Ablenkungen der Bifilarrolle auf gleiche Stromstärke zu reduciren.

Die folgende Tabelle giebt nun in kurzer Uebersicht die so reducirten Mittelwerthe, welche für die verschiedenen Lagen und Entfernungen erhalten werden. In der ersten Verticalreihe steht die Entfernung der Mittelpunkte von *b* und *f*; die folgenden Columnen enthalten die entsprechenden Ablenkungen der Bifilarrolle unter den in der Ueberschrift angegebenen Lagen, und zwar für gleiche Stromstärke.

Abstand in Millimetern.	Nördlich.	Oestlich.	Südlich.	Westlich.
300	77,16	189,14	77,06	190,62
400	34,78	77,61	34,77	77,28
500	18,17	39,37	18,30	39,16
600	—	22,53	—	22,38

Man sieht zunächst aus dieser Tabelle, daß die für gleiche Entfernung in entgegengesetzten, um 180° verschiedenen Richtungen enthaltenen Resultate so weit übereinstimmen, als die Beobachtungen verbürgt werden können.

Setzt man für diese sehr nahe gleichen Werthe ihr Mittel, so erhält man nach Verwandlung der Scalentheile in Grade, Minuten und Secunden folgende Tafel:

r	*v*	*v'*
0,3	0° 49′ 22″	0° 20′ 3″
0,4	0 20 8	0 9 2
0,5	0 10 12	0 4 44
0,6	0 5 50	

worin dieselbe Bezeichnung gebraucht ist, deren sich Gauß in der Intensitas vis magneticae (Pogg. Ann. 1833. Bd. 28, S. 604; mein Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Bd., S. 38) bei der Zusammenstellung der magnetischen Beobachtungen bedient hat. Was die Elemente betrifft, deren Kenntniß zur Ausführung dieser Reduction nöthig sind, so muß ich auf die Originalabhandlung verweisen.

Nach dem Grundprincip der Elektrodynamik sollen sich nun hier wie dort die Tangenten der Ablenkungswinkel v und v' nach den fallenden ungeraden Potenzen von r entwickeln lassen, und zwar soll

$$tang.\ v = \frac{a}{r^3} + \frac{b}{r^5}$$

$$tang.\ v' = \frac{a}{2r^3} + \frac{c}{r^5}$$

gesetzt werden können, wo a, b und c aus den Beobachtungen zu bestimmende Constanten sind. Setzt man in unserem Falle

$$tang.\ v = \frac{0{,}0003572}{r^3} + \frac{0{,}000002755}{r^5}$$

$$tang.\ v' = \frac{0{,}0001786}{r^3} + \frac{0{,}000001886}{r^5},$$

so ergiebt sich folgende Tafel berechneter Ablenkungen und deren Unterschiede von den beobachteten

r	v	Unterschied.	v'	Unterschied.
0,3	0° 49′ 22″	0″	0° 20′ 4″	− 1″
0,4	0 20 7	+ 1	0 8 58	+ 4
0,5	0 10 8	+ 4	0 4 42	+ 2
0,6	0 5 49	+ 1	—	—

In dieser Uebereinstimmung der berechneten Werthe mit den beobachteten findet sich also eine der allgemeinsten und wichtigsten Consequenzen des Grundprincips der Elektrodynamik bestätigt, daß nämlich für die elektrodynamischen Wirkungen in die Ferne gleiche Gesetze gelten wie für die magnetischen.

Bei dieser Uebertragung der magnetischen Gesetze auf die elektrodynamischen Beobachtungen, werden die Werthe dreier Constanten aus den Beobachtungen selbst abgeleitet, was nicht nöthig ist, wenn man auf das Grundprincip der Elektrodynamik selbst zurückgeht und daraus unmittelbar berechnet, welche Resultate demnach die Beobachtungen hätten geben sollen.

Von der Ausführung dieser Rechnung selbst müssen wir hier abstrahiren, weil sie mehr mathematische Hülfsmittel erfordert, als für den Standpunkt dieses Werkes zulässig sind; ich muß in dieser Beziehung wieder auf die Originalabhandlung verweisen, wo gezeigt ist, daß die beobachteten Ablenkungen mit den direct aus dem Ampère'schen Gesetz abgeleiteten so weit übereinstimmen, daß die Differenzen innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler liegen.

Bestimmung der Dauer momentaner Ströme mit dem Dynamometer. 245 Weber hat von seinem Dynamometer eine sehr sinnreiche Anwendung gemacht, um die Dauer momentaner Ströme zu ermitteln. — Wenn die Stärke eines fortdauernden constanten Stromes bestimmt werden soll, so kann man sich dazu sowohl eines Galvanometers, also eines Instrumentes bedienen, in welchem durch den Strom eine Magnetnadel oder ein Magnetstab abgelenkt wird, oder auch des Dynamometers, bei welchem der Magnetstab durch eine bewegliche Drahtrolle ersetzt ist. Ist aber der Strom, dessen Stärke bestimmt werden soll, bloß von momentaner Dauer, so reicht die Beobachtung eines dieser beiden Instrumente nicht hin, weil die beobachtete Ablenkung nicht bloß von der Stromstärke, sondern auch von der Dauer des Stromes abhängt. In einem solchen Falle ist es also, um die Stromstärke kennen zu lernen, nothwendig, auch die Dauer des Stromes zu ermitteln.

Die beiden Instrumente, nämlich das Galvanometer (in unserm Falle ein Magnetometer) und das Dynamometer, ergänzen nun einander so, daß, wenn derselbe momentane Strom gleichzeitig durch beide hindurch geht, aus der beobachteten Ablenkung beider Instrumente sowohl die Stärke, als auch die Dauer des momentanen Stromes bestimmt werden kann. Diese wechselseitige Ergänzung gründet sich darauf, daß die beobachtete Ablenkung beider Instrumente von der Dauer des momentanen Stromes in gleicher Weise abhängt, nämlich derselben proportional ist, während die Ablenkung des Galvanometers der Stromstärke, die Ablenkung des Dynamometers aber (vorausgesetzt, daß derselbe Strom gleichzeitig durch die feste und die bewegliche Rolle geht) dem Quadrat der Stromstärke proportional ist.

Bezeichnet e die Ablenkung, welche am Galvanometer durch einen Strom von der Stärke i hervorgebracht wird, welcher während des kleinen Zeittheilchens t wirkte, so ist

$$e = nil \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

während die durch denselben Strom am Dynamometer hervorgebrachte Ablenkung

$$\varepsilon = o i^2 t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

ist, wo n und o constante Factoren sind.

Dividirt man mit der Gleichung 2) in die aufs Quadrat erhobene Gleichung 1), so ergiebt sich

$$t = \frac{o e^2}{n^2 \varepsilon},$$

es handelt sich also nur noch darum, die constanten Factoren o und n gehörig zu ermitteln, um auf diesem Wege die Zeitdauer momentaner Ströme bestimmen zu können. Zu diesem Zweck müssen wir aber etwas weiter ausholen.

Die Geschwindigkeit, welche dem Magnetometer durch einen Strom von der Stärke i während des Zeittheilchens t (welches sehr klein ist gegen die Dauer einer Oscillation des Magnetometers) mitgetheilt wird, ist

$$\frac{a m}{p} i t,$$

wenn a einen constanten Factor, m das magnetische Moment des Magnetstabes und p sein Trägheitsmoment bezeichnet Ebenso ist die Geschwindigkeit, welche derselbe Strom während derselben kurzen Zeit der Bifilarrolle mittheilt,

$$\frac{b}{q} i^2 t,$$

wenn b ebenfalls einen constanten Factor und q das Trägheitsmoment der Bifilarrolle bezeichnet.

Diese Geschwindigkeit, mit welcher die beiden Instrumente aus ihrer Gleichgewichtslage herausgetrieben werden, läßt sich aber auch noch aus der beobachteten Elongation und der (für den Fall, daß kein Strom auf sie einwirkt und keine Dämpfung stattfindet) beobachteten Schwingungsdauer derselben berechnen; sie ist nämlich für das Magnetometer

$$\frac{e \pi}{s},$$

für das Dynamometer

$$\frac{\varepsilon \pi}{\sigma},$$

wenn e und ε die frühere Bedeutung haben und s die Schwingungsdauer des Magnetometers, σ die der Bifilarrolle bezeichnet. π ist die Ludolf'sche Zahl 3,14*).

---

*) Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Pendel seine Gleichgewichtslage passirt, um zur Höhe h anzusteigen, ist bekanntlich

$$v = \sqrt{2gh} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a)$$

Daraus ergeben sich denn folgende Gleichungen

$$\frac{am}{p} it = \frac{e\pi}{s}$$

und

$$\frac{b}{q} i^2 t = \frac{\varepsilon\pi}{\sigma}$$

und durch Combination beider

$$t = \frac{\pi b p^2 \sigma}{a^2 m^2 q s^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon}$$

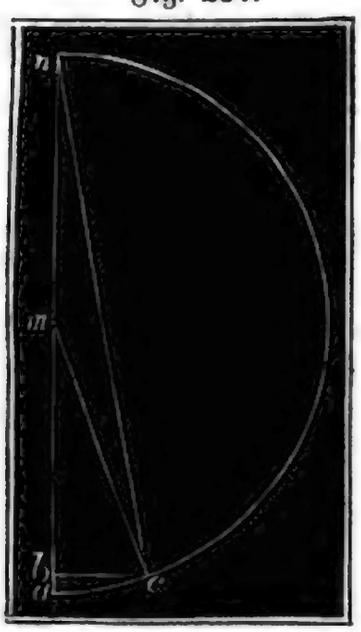
und

$$= \frac{am}{b} \cdot \frac{q}{p} \cdot \frac{s}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon}{e} .$$

Um die Constanten a und b wegzuschaffen, muß nun noch eine weitere Beobachtung gemacht werden; man muß nämlich die Ablenkungen e' und ε' beobachten, in welchen beide Instrumente verharren, wenn durch beide derselbe constante Strom von der Stärke 1 geht. Der Werth von e' muß nun gleich seyn dem Quotienten, welchen man erhält, wenn man die ablenkende Kraft am durch die Directionskraft des Magnetometers dividirt. Diese Directionskraft ergiebt sich aber aus der beobachteten Schwingungszeit s und dem Trägheitsmoment p, sie ist $\frac{\pi^2 p}{s^2}$, mithin haben wir die Gleichung:

In Fig. 237 sey nun m der Mittelpunkt der Schwingung, ab die Steighöhe, h und ac die Elongation e, so ist bekanntlich ae die mittlere proportionale zwischen ab und an, oder es ist

Fig. 237.



$$h : e = e : 2l$$

wenn l die Pendellänge bezeichnet, und daraus

$$h = \frac{e^2}{2l};$$

setzen wir in die Gleichung a) diesen Werth von h, so kommt

$$v = \sqrt{\frac{g e^2}{l}};$$

nun aber ist bekanntlich $g = \frac{\pi^2 l}{s^2}$, wenn s die Schwingungsdauer des Pendels bezeichnet und folglich

$$v = \sqrt{\frac{\pi^2 l}{s^2} \cdot \frac{e^2}{l}} = \frac{\pi e}{s}$$

Diese für das Pendel abgeleitete Beziehung können wir aber ohne Weiteres auf unsern Fall übertragen.

$$e' = am \frac{s^2}{\pi^2 p},$$

ebenso ergiebt sich

$$\varepsilon' = \frac{b\sigma^2}{\pi^2 q}.$$

Substituirt man nun die aus diesen beiden Gleichungen für a und b gezogenen Werthe im obigen Werth von t und i, so kommt

$$t = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{s^2}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon'}{e'^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon'}$$

$$i = \frac{\sigma}{s} \cdot \frac{e'}{\varepsilon'} \cdot \frac{\varepsilon'}{e}.$$

246 **Wiederholung des Ampère'schen Fundamentalversuchs mit Reibungselektricität, und Messung der Dauer des elektrischen Funkens bei Entladung einer Leidner Flasche.** Auch zu Versuchen mit Reibungselektricität hat Weber sein Dynamometer benutzt. Während die Mittelpunkte beider Drahtrollen zusammenfielen, wurde das eine Drahtende der beweglichen mit dem einen Drahtende der festen Rolle verbunden; von den beiden übrigen Drahtenden wurde sodann das eine zu der äußern Belegung einer Leidner Batterie, das andere zu einer nassen Schnur geführt, welche an den isolirten Auslader geknüpft war. Die Batterie wurde geladen und endlich der Auslader dem metallenen Knopfe genähert, welcher mit der innern Belegung der Batterie in Verbindung stand. In dem Augenblicke nun, in welchem die Entladung der Batterie durch die nasse Schnur und die Rollen des Dynamometers stattfand, wurde das vorher in Ruhe befindliche Dynamometer in Schwingungen gesetzt, welche oft einen Bogen von mehreren Hundert Scalentheilen umfaßte. Der am Fernrohr stehende Beobachter konnte leicht die Größe der ersten Elongation und die Seite, nach welcher sie erfolgte, bestimmen.

Die Richtung der Ablenkung ergab sich als diejenige, welche durch das Ampère'sche Fundamentalgesetz schon im Voraus bestimmt war. Somit ist bewiesen, daß der Ampère'sche Fundamentalversuch auch mit dem Strome der gemeinen Elektricität gemacht werden kann.

Als außer dem Dynamometer auch noch ein Galvanometer in den Schließungsbogen eingeschaltet war, wurden folgende zusammengehörige Beobachtungen gemacht:

Länge der Schnur	Elongation des Galvanometers $= e$	Elongation des Dynamometers $= \varepsilon$	$\frac{e^2}{\varepsilon}$
2000 mm	79,9	65,6	97,3
1000	76,6	153,0	38,3
500	82,3	293,8	23,0
250	87,3	682,0	11,2
125	93,2	aus der Scala	
250	82,9	609,1	11,3
500	95,6	422,8	21,6
1000	95,8	210,1	43,7
2000	101	98	105,0

Die Regelmäßigkeit dieser Resultate macht es wahrscheinlich, daß bei diesen Versuchen mit der nassen Schnur wirklich alle Elektricität der Batterie durch die Drahtleitung hindurchgehe und darin einen Strom bilde, der dem Strome einer galvanischen Säule einigermaßen an Continuirlichkeit vergleichbar seyn dünfte. Wäre dies der Fall, so könnte man von den vorliegenden Beobachtungen eine wichtige Anwendung machen, indem sich alsdann die im vorigen Paragraphen entwickelten Regeln darauf anwenden ließen, um die Dauer des Stromes, welche mit der Dauer des Entladungsfunkens als gleich betrachtet werden darf, zu bestimmen. Um die relativen Zeitmaaße, welche schon obige Tabelle in der mit $\frac{e^2}{\varepsilon}$ überschriebenen Columne beigefügt sind, auf absolute zu reduciren, bedarf es nach dem vorigen Paragraphen nur noch eines Versuches mit einem constanten durch beide Instrumente gehenden Strome. Weber hat diesen Versuch ausgeführt und gefunden, daß man obige Werthe von $\frac{e^2}{\varepsilon}$ mit 1188 zu dividiren habe, um die Dauer des Stromes in Secunden zu erhalten. Hiernach ergeben sich aus obigen Beobachtungen folgende Mittelwerthe:

Länge der Schnur	Dauer des Funkens
2000 Millimeter	0,0851 Secunden
1000 »	0,0345 »
500 »	0,0187 »
250 »	0,0095 »

Es ergiebt sich hieraus, daß die Dauer des Funkens der Länge der Schnur fast proportional ist.

Dadurch ist auch die Ansicht gerechtfertigt, welche Rieß über die Dauer des Entladungsfunkens ausgesprochen hat. (S. Oben S. 122).

247 **Ergänzung des statischen Gesetzes der elektrischen Abstoßung.** Das Ampère'sche Gesetz bezieht sich nur auf die gegenseitige Wirkung zweier Stromelemente; in unseren Versuchen können wir aber nicht die Einwirkung zweier Stromelemente, sondern nur das gegenseitige Verhalten geschlossener Ströme einer Prüfung unterwerfen; von einer experimentellen Bestätigung des Ampère'schen Gesetzes kann also nur indirect die Rede seyn. Setzt man voraus, wie es wohl nicht bezweifelt werden kann, daß die Total-Wirkung zweier geschlossener Ströme auf einander gleich ist der Summe der Wirkungen, welche die Elemente des einen geschlossenen Stromes auf die Stromelemente des andern ausüben, so läßt sich, von dem Ampère'schen Gesetz ausgehend, die gegenseitige Wirkung geschlossener Ströme berechnen, und wenn diese berechneten Resultate mit der Erfahrung übereinstimmen, so kann man auch wieder rückwärts auf die Richtigkeit des Ampère'schen Gesetzes schließen, und in dieser Weise hat Weber auch durch die genauesten Messungen den experimentellen Beweis für die Gültigkeit des Ampère'schen Gesetzes geliefert.

Weber ist aber hierbei nicht stehen geblieben, er hat das Ampère'sche Gesetz auch noch in einen inneren Zusammenhang mit den übrigen Grundgesetzen der Elektricität gebracht, denn von ihm ausgehend, ist er zur Aufstellung eines allgemeinen Gesetzes der elektrischen Wirkung gelangt, welches sowohl die Elektrostatik, wie die Elektrodynamik umfaßt und aus welchem sich denn das Inductionsgesetz als nothwendige Folge ergiebt. Die vollständige Entwickelung des eben angedeuteten Zusammenhanges findet sich in der bereits im vorigen Paragraphen citirten Abhandlung, deren Verständniß jedoch ziemlich bedeutende mathematische Kenntnisse erfordert. — Herr Professor Weber hatte die Güte, mir brieflich die Grundzüge einer elementaren Entwickelung seiner schönen Theorie mitzutheilen; es freut mich, dadurch in Stand gesetzt zu seyn, meinen Lesern diesen schwierigen Gegenstand in einer Klarheit und Präcision vorlegen zu können, die ich ohne diese gütige Unterstützung, für die ich dem verehrten Göttinger Physiker meinen aufrichtigsten Dank sage, vergebens angestrebt haben würde. —

Betrachten wir die elektrischen Fluida in zwei Stromelementen A und B, deren Wechselwirkung wir untersuchen wollen, so haben wir in denselben gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität, welche sich in jedem Elemente in entgegengesetztem Sinne bewegen. Diese gleichzeitige

entgegengesetzte Bewegung positiver und negativer Elektricität, wie man sie in allen Theilen eines linearen Drahtes anzunehmen pflegt, kann in der Wirklichkeit zwar nicht existiren, kann aber für unsern Zweck als eine ideale Bewegung angesehen werden, welche in den von uns betrachteten Fällen, wo es sich bloß um Wirkungen in der Ferne handelt, die wirklich vorhandenen Bewegungen hinsichtlich aller in Betracht zu ziehenden Wirkungen vertritt und dabei den Vorzug hat, sich besser der Rechnung unterwerfen zu lassen.

Alsdann haben wir in den zwei Stromelementen, die wir betrachten, vier Wechselwirkungen elektrischer Massen, zwei abstoßende zwischen den beiden positiven und den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwischen der positiven Masse in A und der negativen Masse in B, und ferner zwischen der negativen Masse in A und der positiven in B.

Jene beiden abstoßenden Kräfte müßten, wenn die bekannten elektrostatischen Gesetze eine unbedingte Anwendung auf unsern Fall fänden, den beiden anziehenden Kräften gleich seyn, weil die gleichartigen sich abstoßenden Massen den ungleichartigen sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken.

Nun aber wirken zwei Stromelemente in der That anziehend oder abstoßend auf einander; wenn also irgend ein Zusammenhang zwischen den Grundgesetzen der Elektrostatik und der Elektrodynamik stattfinden soll, so muß man annehmen, daß die gegenseitige Einwirkung elektrischer Massen durch ihren Bewegungszustand modificirt werde. Das statische Gesetz der elektrischen Abstoßung bedarf also einer Ergänzung, wenn die Gesetze der Elektrodynamik daraus abgeleitet werden sollen, und diese Ergänzung muß aus dem durch die Erfahrung geprüften und bestätigten Gesetze der elektrodynamischen Kräfte gefunden werden, welches Ampère aufgestellt hat. Diese Ergänzung ergiebt sich auf die einfachste Weise aus der Betrachtung zweier specieller Fälle, welche das Ampère'sche Gesetz umfaßt, wo dasjenige, was die gesuchte Ergänzung leisten soll, sich am einfachsten bestimmen läßt.

Fig. 238 a.

Fig. 238 b.

Der erste dieser beiden Fälle ist der, wo die Richtung der beiden Stromelemente A und B mit der sie verbindenden Geraden zusammenfällt, wie dies Fig. 238 a angedeutet ist; der zweite Fig. 238 b dargestellte Fall dagegen ist der, wo die Richtung beider Elemente parallel ist und senkrecht steht zu den sie verbindenden Geraden.

Diese beiden speciellen Fälle haben das mit einander gemein, daß die gleichnamigen Elektricitäten der beiden aufeinander wirkenden Elemente in Größe und Richtung gleiche Bewegung haben und ihre gegenseitige Lage daher unverändert bleibt: Es folgt daraus, daß auf diese gleichnamigen Elektricitäten (trotz ihrer Bewegung) das statische Gesetz unveränderte Anwendung findet. Die gesuchte Ergänzung des statischen Gesetzes kommt dann bloß für die Wechselwirkung der ungleichnamigen Elektricitäten in Betracht (welche gleiche aber entgegengesetzte Bewegung haben) und läßt sich daher leichter bestimmen.

Diese beiden speciellen Fälle unterscheiden sich aber von einander dadurch, daß die entgegengesetzte Bewegung der ungleichnamigen Elektricitäten im ersten Falle bloß eine relative Geschwindigkeit ohne Beschleunigung, im andern Falle bloß eine relative Beschleunigung ohne Geschwindigkeit hervorbringt. Betrachten wir diese beiden Fälle etwas näher.

Erster Fall.

α bezeichne die Länge der Stromelemente, i die Stromintensität, r die Entfernung der beiden Elemente. Nach Ampère ist ihre Anziehungskraft (wenn ε, Θ, Θ' die Winkel bezeichnen, welche die Richtung der Stromelemente unter einander und mit r bilden)

$$= aa\,\frac{\alpha\alpha}{r.r}\,ii\,(cos.\varepsilon - {}^3/_2\ cos.\Theta\ cos.\Theta')$$

oder weil in diesem Falle $\varepsilon = \Theta = \Theta' = o$ ist

$$= -\frac{aa}{2}\,\frac{\alpha\alpha}{r\cdot r}\,ii \text{ (Anziehungskraft)}$$

$$= +\frac{aa}{2}\,\frac{\alpha\alpha}{r\cdot r}\,.\,ii \text{ (Abstoßungskraft).}$$

Betrachtet man aber nun die Elektricitäten in den beiden Elementen und deren Wechselwirkung, so kann man die in einem Elemente enthaltene, seiner Länge α proportionale Elektricitätsmenge durch

$$\pm e\alpha$$

darstellen, wo e diejenige Elektricitätsmenge bezeichnet, welche der Länge $= 1$ entspricht. Die Geschwindigkeit, mit welcher diese Elektricität sich bewegt, werde mit

$$\pm u$$

bezeichnet. Es findet nun hier das statische Gesetz der Abstoßung, sowohl auf die Wechselwirkung der positiven Elektricitäten in den beiden Elementen, als auch auf die der negativen seine Anwendung, weil sie nur eine gemeinsame Bewegung haben, welche ihre gegenseitige Lage nicht ändert. Jede von diesen beiden Wechselwirkungen giebt die Kraft

$$+\frac{ee}{rr}\,\alpha\cdot\alpha,$$

also zusammen

$$\frac{2ee}{rr} \cdot \alpha\alpha;$$

dagegen bedarf das statische Gesetz für die ungleichnamigen Elektricitäten in beiden Elementen einer Correction, weil die entgegengesetzte Geschwindigkeit, mit welcher sich beide in derselben geraden Linie bewegen, eine relative Geschwindigkeit $v = 2u$ hervorbringt. Ohne diese Correction würde sich aus dem statischen Gesetze für jedes Paar die Abstoßungskraft

$$-\frac{ee}{rr} \cdot \alpha\alpha,$$

also zusammen für beide Paare

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha$$

ergeben. Mit der Correction möge diese Kraft durch

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha(1-x)$$

angedeutet werden. Die Summe aller vier Wechselwirkungen ist alsdann

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha - \frac{2ee}{rr}\alpha\alpha(1-x) = +\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha x \text{ (Abstoßungskraft).}$$

Dieser Werth ist dem nach Ampère bestimmten gleichzusetzen und daraus ist x zu bestimmen. Es ist also

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha x = \frac{aa}{2}\frac{\alpha\alpha}{rr}ii,$$

folglich

$$x = \frac{aa}{4}\frac{ii}{ee}.$$

Nun wird die Stromintensität i durch die Elektricitätsmenge bestimmt, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt strömt, d. i.

$$i = eu = \tfrac{1}{2}ev,$$

folglich

$$x = \frac{aa}{16}vv.$$

Substituirt man diesen Werth von x, so erhält man die Abstoßungskraft zweier elektrischen Massen ε und ε' allgemeiner durch die statische Formel mit Hinzufügung der von der relativen Geschwindigkeit abhängigen Correction bestimmt

$$= \frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16}vv\right)$$

So führt uns denn dieser erste Fall der elektrodynamischen Wirkung zwischen zwei Stromelementen, wenn wir ihn mit dem elektrostatischen

Grundgeſetz in Beziehung ſetzen wollen, zu der Annahme, daß zwei bewegte elektriſche Maſſen deſto ſchwächer (abſtoßend oder anziehend, jenachdem ſie gleichnamig oder ungleichnamig ſind) auf einander wirken, je größer das Quadrat ihrer relativen Geſchwindigkeit iſt.

Zweiter Fall.

Der zweite Fall unterſcheidet ſich von dem erſten bloß dadurch, daß $\Theta = \Theta' = 90^0$ iſt ($\varepsilon = o$ bleibt wie vorher). Die Anziehungskraft beider Stromelemente iſt alſo nach Ampère

$$aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii\,(cos.\,\varepsilon - {}^3/_2\,cos.\,\Theta\,cos.\,\Theta') = +\,aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii$$

oder deren Abſtoßungskraft

$$= -\,aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii.$$

Das ſtatiſche Geſetz der Abſtoßung findet auch hier ſowohl auf die poſitive Elektricität in beiden Elementen, als auch auf die negative Anwendung, weil ſie eine gemeinſame Bewegung haben, welche ihre gegenſeitige Lage nicht ändert. Als Summe dieſer beiden Wechſelwirkungen hat man alſo wieder

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha.$$

Dagegen bedarf das ſtatiſche Geſetz für die ungleichnamigen Elektricitäten in beiden Elementen einer Correction, weil dieſelben nach entgegengeſetzten Richtungen ſich bewegen, und die corrigirte Abſtoßungskraft der beiden Paare zuſammengenommen kann durch

$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,(1+y)$$

angedeutet werden. Die Summe aller vier Wechſelwirkungen wird dann erhalten

$$+\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha - \frac{2ee}{rr}\alpha\alpha\,(1+y) = -\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha y\,(\text{Abſtoßungskraft});$$

wird nun dieſer Werth dem nach Ampère beſtimmten gleichgeſetzt, nämlich

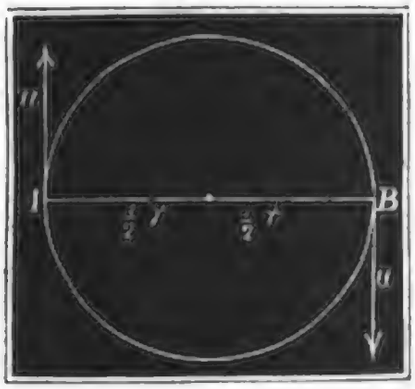
$$-\frac{2ee}{rr}\alpha\alpha y = -\,aa\frac{\alpha\alpha}{rr}ii,$$

ſo erhält man daraus für y

$$y = \frac{aa}{2}\frac{ii}{ee} = \frac{aa}{2}uu.$$

Die mit der Geschwindigkeit u in entgegengesetzten Richtungen strömenden Elektricitäten der beiden Elemente A und B bewegen sich nach den Tangenten eines um die Mitte von r gezogenen Kreises und bleiben immer diametral gegenüber. Die Beschleunigung g' einer jeden, in Beziehung auf den Mittelpunkt des Kreises ist, nach den bekannten Gesetzen der Kreisbewegung, den Quadraten ihrer Geschwindigkeit nach der Richtung der Tangenten ($= uu$) direct und dem Halbmesser des Kreises ($= \frac{1}{2}r$) umgekehrt proportional, oder es ist

Fig. 239.



$$g' = \frac{2uu}{r},$$

folglich ist die Summe der Beschleunigungen beider in Beziehung auf den Mittelpunkt, d. h. ihre relative Beschleunigung gegeneinander

$$g = 2g' = \frac{4uu}{r}$$

und hieraus

$$uu = \frac{gr}{4}.$$

Substituirt man diesen Werth, so ist

$$y = \frac{aa}{8} gr.$$

Mit diesem Werthe von y erhält man die Abstoßungskraft zweier elektrischen Massen ε und ε' allgemeiner durch die statische Formel = Hinzufügung der von der relativen Beschleunigung abhängigen Correction bestimmt

$$= \frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 + \frac{aa}{8} gr\right).$$

Faßt man endlich die beiden von der relativen Geschwindigkeit und von der relativen Beschleunigung abhängigen Correctionen zusammen und fügt man sie der durch das statische Gesetz gegebenen Formel hinzu, so erhält man nun das allgemeine Grundgesetz der Wirkung zweier elektrischen Massen ε und ε', nämlich

$$\frac{\varepsilon\varepsilon'}{rr}\left(1 - \frac{aa}{16} vv + \frac{aa}{8} gr\right)$$

und diese Formel bestimmt, auf alle anderen Fälle angewandt, die Wechselwirkung zweier beliebig gegeneinander gestellter Stromelemente A und B stets ebenso wie das Ampère'sche Gesetz, wenn man nach derselben die vier

Wechſelwirkungen, welche zwiſchen den beiden elektriſchen Maſſen in A und den beiden in B ſtattfinden, berechnet und ſummirt.

Hierdurch ſind die Wirkungen gleichförmiger elektriſcher Strömungen in ruhenden Leitungsdrähten in der Ferne völlig beſtimmt; wir können nun aber auch dieſe Principien in Anwendung bringen, um zu ermitteln, welche Wirkungen ein durchſtrömter bewegter Leitungsdraht oder ein ſolcher, deſſen Stromintenſität zu- oder abnimmt, in einem ſtromloſen Drahtelemente hervorbringt, und ſo ergeben ſich aus dem in dieſem Paragraphen ermittelten allgemeinen elektriſchen Geſetze auch die unter dem Namen der Volta-Induction bekannten Erſcheinungen. Des Zuſammenhanges wegen wollen wir die theoretiſche Ableitung des Inductionsgeſetzes hier unmittelbar folgen laſſen.

248 **Weber's Theorie der Volta-Induction.** Das ſo eben gefundene Grundgeſetz kann auch auf den Fall der Induction angewendet und das allgemeine Inductionsgeſetz daraus abgeleitet werden, und zwar am einfachſten mit Hülfe der folgenden geometriſchen Conſtruction.

1) Es ſey α das inducirende Stromelement, welches dem durchſtrömten Leitungsdrahte RR' angehört; wir wollen die Wirkung ermitteln, welche das Stromelement α auf α', d. h. auf ein Element des ſtromloſen Leitungsdrahtes SS' ausübt, wenn der durchſtrömte Draht bewegt wird. Es ſtelle nun αA die Geſchwindigkeit dar, mit welcher das Element α ſelbſt bewegt wird, αB und $\alpha B'$ ſeyen die Stromgeſchwindigkeiten der beiden Elektricitäten in demſelben. Setzt man αA mit αB zuſammen, ſo erhält man die Geſchwindigkeit αC für die poſitive Elektricität; ſetzt man αA mit $\alpha B'$ zuſammen, ſo erhält man die Geſchwindigkeit $\alpha C'$ der negativen Elektricität.

Fig. 240.

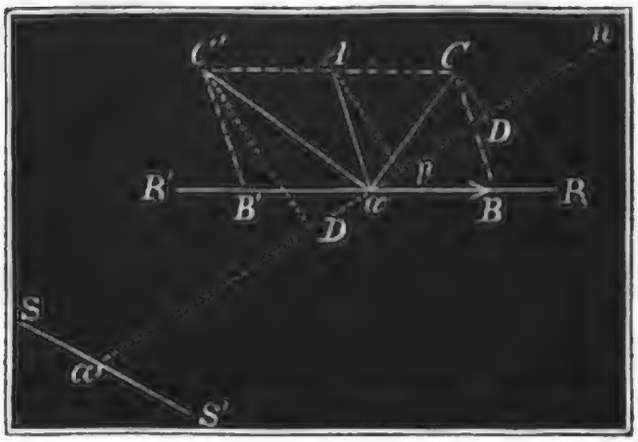
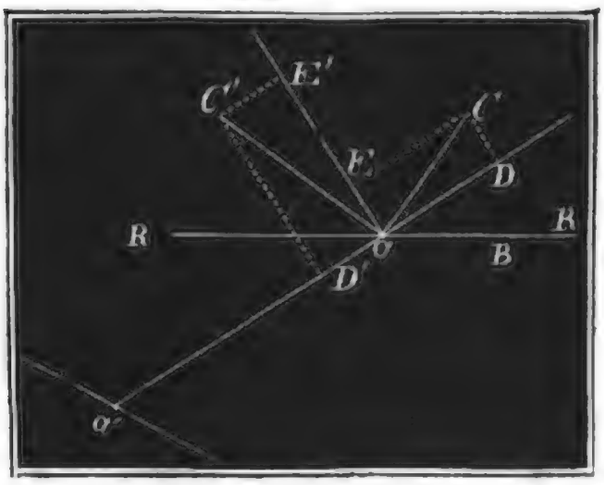


Fig. 241.



2) Man ziehe nun die Verbindungslinie $\alpha\alpha' = r$. Die

Geschwindigkeit αC wird zerlegt in die Geschwindigkeit αD Fig. 241 nach der Richtung von r und in die Geschwindigkeit αE rechtwinklig darauf. Ebenso wird die Geschwindigkeit $\alpha C'$ zerlegt in die Geschwindigkeit $\alpha D'$ nach r und $\alpha E'$ rechtwinklig darauf. Es ist nun $\alpha D = v$ die relative Geschwindigkeit der positiven, $\alpha D' = v'$ die relative Geschwindigkeit der negativen Elektricität in α gegen die ruhende Elektricität in α'.

3) Aus den Tangentialgeschwindigkeiten (für α' als Mittelpunkt) $\alpha E = u$ und $\alpha E' = u'$ ergiebt sich dagegen aus dem Gesetze der Kreisbewegung die relative Beschleunigung der positiven Elektricität in α gegen α'

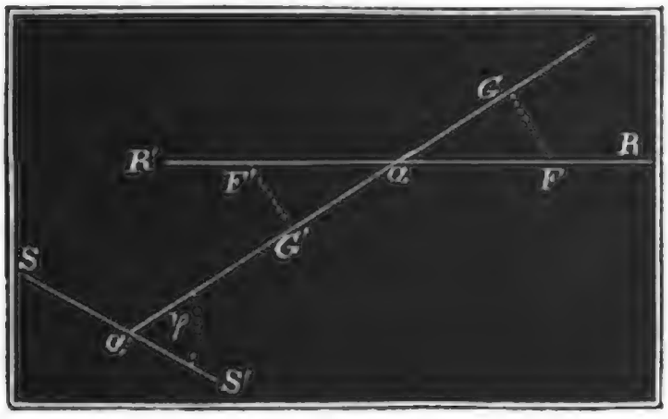
$$g'' = \frac{u\,u}{r}$$

und der negativen Elektricität in α gegen α'

$$g''' = \frac{u'\,u'}{r}\,.$$

4) Soll die Theorie nicht allein die Induction durch Annähern und Entfernen des inducirenden Drahtes gegen den inducirten, sondern auch die Induction durch Entstehen und Verschwinden oder, allgemeiner gesagt, durch Verstärkung und Schwächung des Hauptstroms umfassen, so müssen wir den Strom in α selbst veränderlich nehmen, wir müssen also annehmen, daß in dem Leitungsdrahte RR' selbst eine Strombeschleunigung oder Verzögerung stattfinde. Es stelle nun αF und $\alpha F'$ Fig. 242 die Strombeschleunigung für die positive und negative Elektricität in α dar, so giebt die Zerlegung nach der Richtung von r die daraus entspringende relative Beschleunigung gegen α', nämlich für die positive Elektricität

Fig. 242.



$$\alpha G = g_0$$

für die negative Elektricität

$$\alpha G' = -\,g_0$$

folglich die ganze relative Beschleunigung für die positive Elektricität

$$g = g'' + g_0 = \frac{u\,u}{r} + g_0$$

für die negative Elektricität

$$g' = g''' - g_0 = \frac{u'u'}{r} - g_0$$

hiernach erhält man folgende vier Wechſelwirkungen

von $+ e\alpha$ auf $+ e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,vv + \frac{aa}{8}\,gr\right)$

von $- e\alpha$ auf $+ e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,v'v' + \frac{aa}{8}\,g'r\right)$

von $+ e\alpha$ auf $- e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,vv + \frac{aa}{8}\,gr\right)$

von $- e\alpha$ auf $- e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left(1 - \frac{aa}{16}\,v'v' + \frac{aa}{8}\,g'r\right)$

Die Summe dieſer vier Wechſelwirkungen iſt Null; eine elektrodynamiſche Wirkung findet alſo zwiſchen dem durchſtrömten Elemente α und dem ſtromloſen α' nicht ſtatt. In Summe aber iſt die Kraft

auf $+ e'\alpha'$ $\quad + \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left\{\frac{aa}{16}\,(v'v' - vv) - \frac{aa}{8}(g' - g)r\right\}$

auf $- e'\alpha'$ $\quad - \frac{ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\left\{\frac{aa}{16}\,(v'v' - vv) - \frac{aa}{8}(g' - g)r\right\}$

auf die poſitive und negative Elektricität in α' wirken alſo ungleiche Kräfte, und die Kraft, welche ſie zu trennen ſtrebt, d. h. die Inductionskraft in der Richtung von r iſt alſo die Differenz dieſer beiden Kräfte, nämlich

$$\frac{2ee'}{rr}\,\alpha\alpha'\,\frac{aa}{16}\left\{v'v' - vv - 2r\,(g' - g)\right\}$$

Subſtituirt man den geometriſch conſtruirten Werthen von v, v', u und u' ihre trigonometriſchen Ausdrücke, ſo erhält man das Inductionsgeſetz in der Form, in welcher es gebraucht wird. Setzt man nämlich in 1)

$$\alpha A = c\,;\ \alpha B = \frac{i}{e}\ ;\ \text{Winkel } A\alpha B = \varepsilon,$$

ſo erhält man

$$(\alpha C)^2 = cc + \frac{ii}{ee} + \frac{2ci}{e}\,\cos.\varepsilon$$

$$(\alpha C')^2 = cc + \frac{ii}{ee} - \frac{2ci}{e}\,\cos.\varepsilon.$$

Setzt man ferner in 2)

$$\text{Winkel } A\alpha n = \Theta'$$
$$\text{Winkel } B\alpha\alpha' = \Theta,$$

ſo erhält man

$$\alpha D = \alpha p + pD = c\cos.\Theta' + \frac{i}{e}\,\cos.\Theta$$

$$\alpha D' = \alpha p - pD' = c\cos.\Theta' - \frac{i}{e}\,\cos.\Theta$$

und

$$vv = \alpha D^2 = \left(c\cos.\Theta' + \frac{i}{e}\cos.\Theta\right)^2$$

$$v'v' = \alpha D'^2 = \left(c\cos.\Theta - \frac{i}{e}\cos.\Theta\right)^2$$

folglich

$$v'v' - vv = -\frac{4ci}{e}\cos.\Theta\cos.\Theta',$$

ferner

$$uu = (\alpha E)^2 = (\alpha C)^2 - (\alpha D)^2$$
$$= cc + \frac{ii}{ee} + \frac{2ci}{e}\cos.\varepsilon - \left(c\cos.\Theta' + \frac{i}{e}\cos.\Theta\right)^2$$
$$u'u' = (\alpha E')^2 = (\alpha C)^2 - (\alpha D')^2$$
$$= cc^2 + \frac{ii}{ee} - \frac{2ci}{e}\cos.\varepsilon - \left(c\cos.\Theta' - \frac{i}{e}\cos.\Theta\right)^2$$

folglich

$$-2r(g'-g) = -2(u'u' - uu) + 4g_0 r$$
$$= \frac{8ci}{e}(\cos.\varepsilon - \cos.\Theta\cos.\Theta') + 4g_0 r.$$

Endlich, wenn man in 4) die Beſchleunigung der Stromgeſchwindigkeit αF mit $\frac{1}{e}\frac{di}{dt}$ bezeichnet iſt, ſo iſt

$$g_0 = \frac{\cos.\Theta}{e}\frac{di}{dt}$$

Subſtituirt man nun dieſe Werthe von $v'v' - vv$, $-2r(g'-g)$ und g_0 in den oben gefundenen Ausdruck für die Inductionskraft, nämlich in

$$\frac{2ee'}{rr}\alpha\alpha'\frac{aa}{16}\left\{v'v' - vv - 2r(g' - g)\right\},$$

ſo erhält man

$$\frac{a\alpha'}{rr}aae'ci(\cos.\varepsilon - {}^3/_2\cos.\Theta\cos.\Theta') + {}^1/_2\frac{\alpha\alpha'}{r}aae'\cos.\Theta\frac{di}{dt}.$$

Die hierdurch beſtimmte Kraft ſucht nun die poſitive und negative Elektricität im inducirten Elemente α' nach der Richtung der Geraden r von einander zu ſcheiden. In der Wirklichkeit kann dieſe Scheidung nur nach der Richtung von α' erfolgen, weil in einem linearen Leiter ein galvaniſcher Strom nur in der Richtung des Leiters ſtattfinden kann. Zerlegt man obige Kraft nach der Richtung des Elements α' und ſenkrecht darauf, ſo kommt nur der erſte Theil als elektromotoriſche Kraft in Betracht und dieſer iſt, wenn φ den Winkel bezeichnet, welchen das Element α' mit r macht, und ferner mit e' dividirt

$$= \frac{\alpha\alpha'}{rr} a\, i(\cos.\varepsilon - {}^3/_2 \cos.\Theta \cos.\Theta')\, a\, c.\cos.\varphi + {}^1/_2 \frac{\alpha\alpha'}{r} a \cos.\Theta \cos.\varphi \frac{di}{dt}.$$

Handelt es ſich nur darum, die Induction zu ermitteln, welche ein conſtanter Strom eines bewegten Drahtes in einem benachbarten ſtromloſen hervorbringt, ſo iſt $\frac{di}{dt} = 0$ und der obige Werth reducirt ſich auf

$$\frac{\alpha\alpha'}{rr} a\, i(\cos.\varepsilon - {}^3/_2 \cos.\Theta \cos.\Theta')\, a\, c \cos.\varphi \ldots\ldots a)$$

Bleibt hingegen der Draht, welcher den primären Strom leitet, in Ruhe, ſo wird $c = 0$, und wenn dann die Stromſtärke im Hauptdraht ab- oder zunimmt, ſo reducirt ſich der obige Werth auf

$${}^1/_2 \frac{\alpha\alpha'}{r} a \cos.\Theta \cos.\varphi \frac{di}{dt} \ldots\ldots b).$$

Suchen wir nun dieſe Werthe a) und b) der elektromotoriſchen Kraft an einigen ſpeciellen Fällen zu erläutern und mit der Erfahrung zu vergleichen.

Sind z. B. die Elemente α und α' einander parallel und iſt die Richtung, nach welcher α bewegt wird, in der Ebene beider Elemente ſenkrecht auf dieſelben, ſo iſt, wenn α ſich von α' entfernt,

$$\cos.\varepsilon = 0$$
$$\cos.\varphi = -\cos.\Theta$$
$$\cos.\Theta' = \sin.\Theta,$$

der Werth a) reducirt ſich alſo auf

$$+ {}^3/_2 \cos.\Theta^2 \sin.\Theta.$$

Der poſitive Werth dieſes Ausdruckes zeigt uns, daß in dieſem Falle der inducirte Strom dem inducirenden gleichgerichtet iſt.

Wird α gegen α' genähert, ſo bleibt alles Uebrige unverändert, nur wird $\cos.\Theta' = -\sin.\Theta$; der Werth a reducirt ſich alſo auf

$$- {}^3/_2 \cos.\Theta^2 \sin.\Theta;$$

in dieſem Falle hat alſo der inducirte Strom die entgegengeſetzte Richtung des inducirenden.

Der Werth von b) wird poſitiv, wenn $\frac{di}{dt}$ negativ iſt; im Nebendraht wird alſo ein dem Hauptſtrom gleichgerichteter inducirt, wenn dieſer Hauptſtrom an Stärke abnimmt oder verſchwindet. Bei Entſtehung des Hauptſtroms aber, oder wenn er an Stärke zunimmt, iſt $\frac{di}{dt}$ poſitiv, der Werth b) wird dadurch negativ; in dieſem Falle iſt alſo der inducirte Strom dem inducirenden entgegengeſetzt.

Fechner's und Neumann's Theorie der Induction. Fechner 249
ist der Erste gewesen, welcher es versucht hat, einen innern Zusammenhang zwischen den elektrodynamischen und den Inductionserscheinungen zu entwickeln, welche vorher von Lenz bloß durch eine empirische Regel in Beziehung zu einander gesetzt worden waren. Fechner hat sich dabei nur auf einen Fall der Induction beschränkt, nämlich auf den, wo ein ruhender constanter Strom auf einen gegen ihn bewegten Leitungsdraht wirkt. (P. A. LXIV. 337.) Von einer nähern Auseinandersetzung dieser, nur einen engeren Kreis von Erscheinungen umfassenden Theorie des verdienstvollen Leipziger Physikers dürfte hier wohl abstrahirt werden, da wir so eben die umfassendere Theorie Weber's in ihren Grundzügen kennen gelernt haben.

Neumann hat der Akademie in Berlin eine Abhandlung über die Theorie der Induction übergeben, aus welcher in Poggendorff's Annalen (Bd. LXVII. S. 31) ein Auszug erschienen ist. Neumann sagt:

»Aus dem Lenz'schen Satze: daß die Wirkung, welche der inducirende »Strom oder Magnet auf den inducirten Leiter ausübt, immer, wenn die »Induction durch eine Bewegung des letzteren hervorgebracht ist, einen hemmenden Einfluß auf diese Bewegung ausübt, in Verbindung mit dem »Satze: daß die Stärke der momentanen Induction proportional mit der »Geschwindigkeit dieser Bewegung ist, wird das allgemeine Gesetz der linearen »Induction abgeleitet

$$Eds = -\varepsilon v C ds.$$

»Hierin bedeutet ds ein Element des inducirten Drahtes und Eds die »in dem Elemente ds inducirte elektromotorische Kraft; v ist die Geschwindigkeit, mit welcher ds bewegt ist, C die nach der Richtung, in welcher »ds bewegt wird, zerlegte Wirkung des Inducenten auf ds, dieses Element durchströmt gedacht von der Einheit des Stroms. Die Größe ε »kann bei der linearen Induction als eine Constante behandelt werden.

Weber hat nun in seiner bereits mehrfach citirten Abhandlung gezeigt, daß das Neumann'sche Gesetz mit seiner Theorie übereinstimmende Resultate giebt, sobald man die Anwendung des Neumann'schen Gesetzes auf geschlossene, durch Magnete ersetzbare Ströme beschränkt.

Eine nähere Erörterung dieses Gegenstandes ist hier nicht wohl möglich.

Achter Abschnitt.

Elektrische Induction.

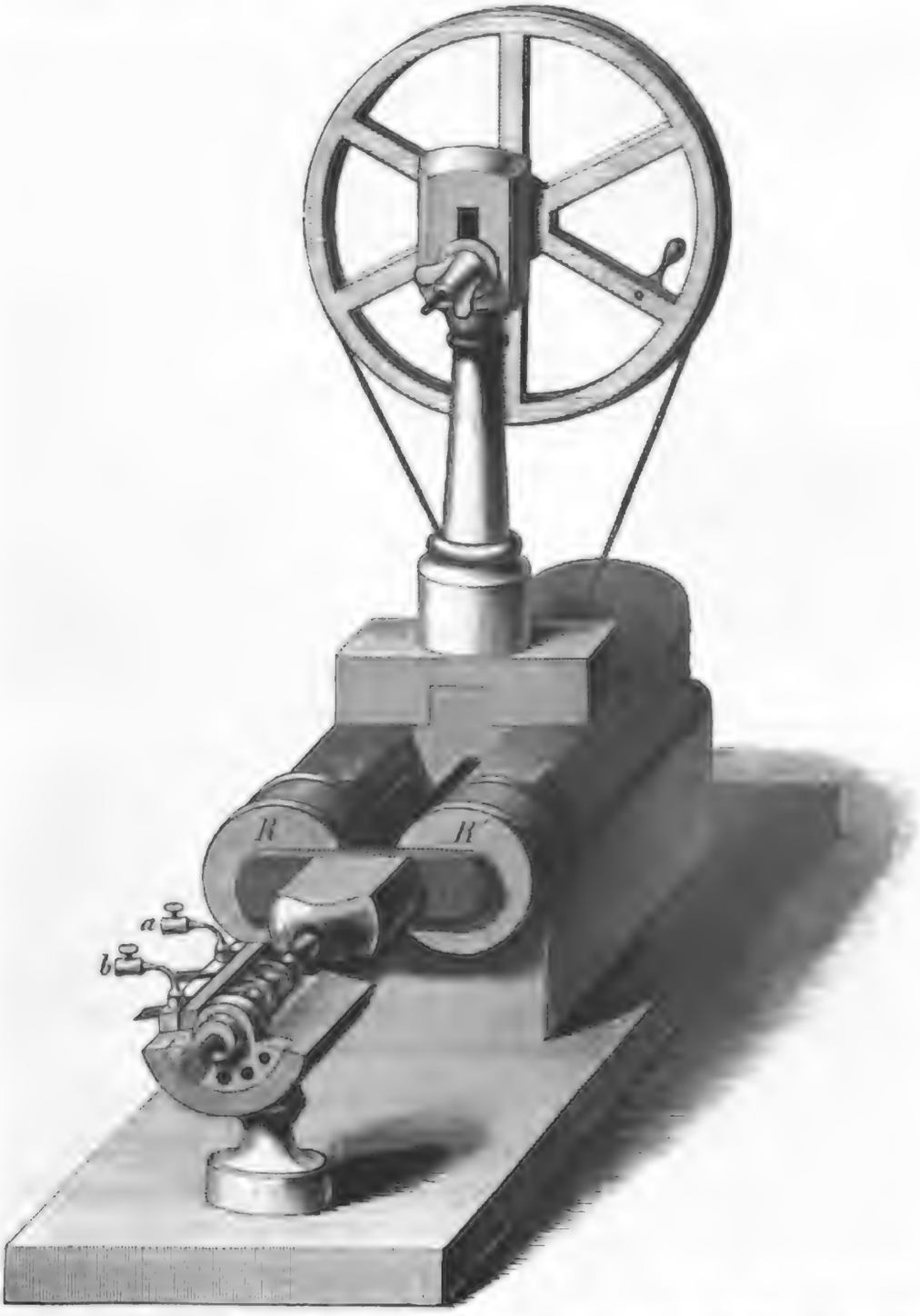
---

249 **Magnetoelektrische Rotationsapparate.** Die magnetoelektrischen Rotationsapparate sind in neuerer Zeit bedeutend verbessert worden. Petrina hat an dem bereits in meinem Lehrbuch der Physik beschriebenen Ettinghausischen Rotationsapparat einige zweckmäßige Abänderungen angebracht, unter denen vorzugsweise hervorzuheben ist, daß seine Maschine den Strom stets in gleicher Richtung durch den Schließungsbogen sendet, wie dies auch bei den Stöhrer'schen Maschinen geschieht. Um nach Belieben einen Intensitätsstrom oder einen Quantitätsstrom zu erhalten, ohne die Inductoren zu wechseln, hat er an derselben Rotationsaxe 4 Inductionsrollen angebracht, von denen immer je zwei diametral gegenüber stehende zusammen gehören. Zwei dieser Spiralen sind von dickem, zwei von dünnem Draht. Jedes Spiralenpaar hat seinen eigenen an derselben Spirale sitzenden Commutator, so daß man nach Belieben den Strom der dicken oder den Strom der dünnen Drahtspirale, oder auch beide gleichzeitig haben kann (Magnetoelektrische Maschine von F. Petrina. Linz 1844.).

Die magnetoelektrischen Rotationsapparate, welche Stöhrer in Leipzig construirt, dürfen wohl als die vollkommensten Instrumente dieser Art angeführt werden. Figur 243 stellt einen dieser Apparate von mittlerer Größe dar. Was das Arrangement im Ganzen betrifft, so ist hier wohl keine weitere Erläuterung nöthig; eben so bedarf wohl auch die Einrichtung des Commutators, welche Fig. 244 dargestellt ist, keiner weiteren Auseinandersetzung, da das Princip desselben bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Bd. S. 257) beschrieben ist; als neu aber muß ich die Vorrichtung beschreiben, welche dazu dient, um die beiden Spiralen auf verschiedene Weise zu combiniren, so daß man nach Belieben

einen stärkeren Strom von geringerer Spannung oder einen schwächeren Strom von größerer Spannung erzeugen kann. Dove nennt eine solche Vorrichtung Pachytrop.

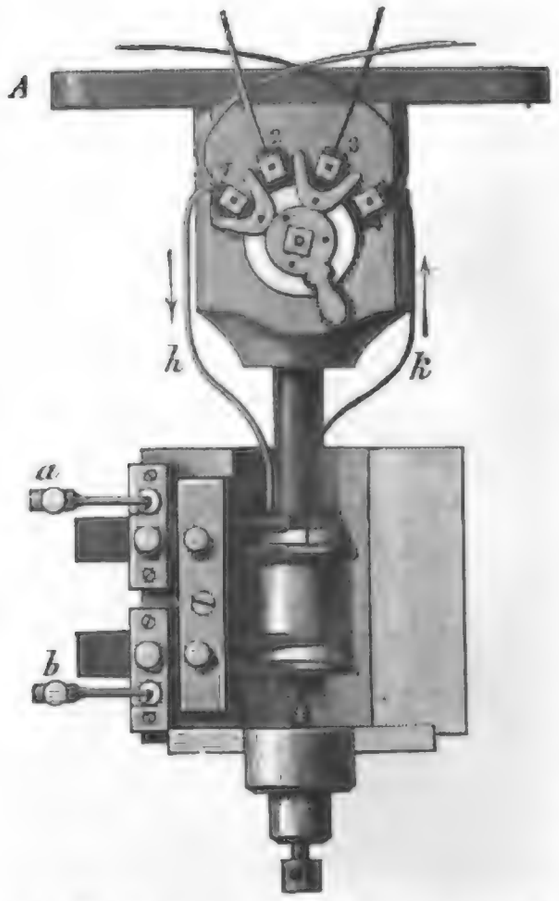
Fig. 243.



In Fig. 244 stellt *A A* die eiserne Platte dar, welche die eisernen Kerne der beiden Drahtrollen trägt und durch deren Mitte die Rotationsaxe des ganzen Apparates geht; an derselben ist, dem Commutator zugewendet, ein auf zwei Seiten abgeflachtes Stück Holz befestigt, welches auf der einen (in Fig. 243 gerade nicht sichtbaren) Seite die fragliche Vorrichtung trägt.

Auf der Holzfläche ſind zunächſt 4 Kupferplättchen befeſtigt, welche in Fig. 244 mit 1, 2, 3 und 4 bezeichnet ſind. An 1 und 2 ſind zwei gleichnamige Drahtenden der beiden Drahtſpiralen befeſtigt, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Nehmen wir z. B. an, das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches bei 1 befeſtigt iſt, ſey für einen beſtimmten Moment poſitiv, ſo iſt dasjenige Drahtende der linken Spirale, welches gleichzeitig poſitiv iſt, in 2 befeſtigt. — Das bei 4 befeſtigte Drahtende führt zur linken, das bei 3 befeſtigte Drahtende führt zur rechten Spirale; dieſe beiden ſind in dem eben beſprochenen Momente negativ.

Fig. 244.



Von 1 führt ein Kupferdraht zum erſten, von 4 ein anderer zum zweiten halb kreisförmigen Kamme des Commutators.

Die vier Kupferſtückchen 1, 2, 3 und 4 liegen auf dem Umfang eines Kreiſes, in deſſen Mittelpunkt eine um denſelben drehbare Elfenbeinſcheibe befeſtigt iſt; dieſe trägt zwei von einander iſolirte Gabeln von Kupfer, welche in unſerer Figur in ſolcher Stellung gezeichnet ſind, daß ihre Arme nicht auf die Kupferſtückchen fallen. Bei ſolcher Stellung ſind die Spiralen gar nicht geſchloſſen; bei der Umdrehung der Rotationsaxe kann man alſo auch keinerlei Stromwirkung erhalten.

Nun aber werde die Elfenbeinſcheibe ſo gedreht, daß 1 und 2 durch die eine, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden ſind. Der poſitive Strom der Spirale rechts kommt jetzt direct nach 1, der poſitive Strom der Spirale links kommt über 2 durch die Gabel gleichfalls nach 1, der Draht *h* führt alſo die poſitiven Ströme beider Spiralen dem erſten Kamme des Commutators zu, während er nachher durch den Draht *k* nach 4 gelangt, um ſich hier zu theilen, indem er von 4 direct zur linken und durch die zweite Gabel über 3 zur rechten Spirale gelangt. Der Strom, welcher den Schließungsbogen durchläuft, geht alſo zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale.

Betrachtet man jede Spirale als einen Elektromotor, ſo ſind hier gleichſam die beiden Elektromotoren neben einander combinirt; die elektromo-

torische Kraft ist gleich, der Widerstand ist halb so groß als für eine Spirale allein.

Diese Combination ist anzuwenden, um stärkere Ströme im Schließungsbogen von verhältnißmäßig geringem Widerstande zu erhalten.

Wird die Elfenbeinscheibe so gedreht, daß 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden werden, so muß der Strom beide Spiralen hinter einander durchlaufen. Der positive Strom, welcher durch *k* bei 4 eintritt, geht von da in die Spirale links; nachdem er diese durchlaufen hat, gelangt er über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 und *h* zum Commutator zu gelangen.

Für diese Combination sind also gewissermaßen die beiden elektromotorischen Elemente zur Säule verbunden, man hat die doppelte elektromotorische Kraft und den doppelten Widerstand einer einzigen Spirale, die elektromotorische Kraft ist also doppelt, der Widerstand 4mal so groß als für die zuerst genannte Combination.

Diese Combination der Spiralen ist in solchen Fällen zu wählen, wo ein größerer Widerstand in den Schließungsbogen eingeschaltet ist; bei dieser Stellung der elfenbeinenen Scheibe erhält man deshalb die stärksten physiologischen Wirkungen.

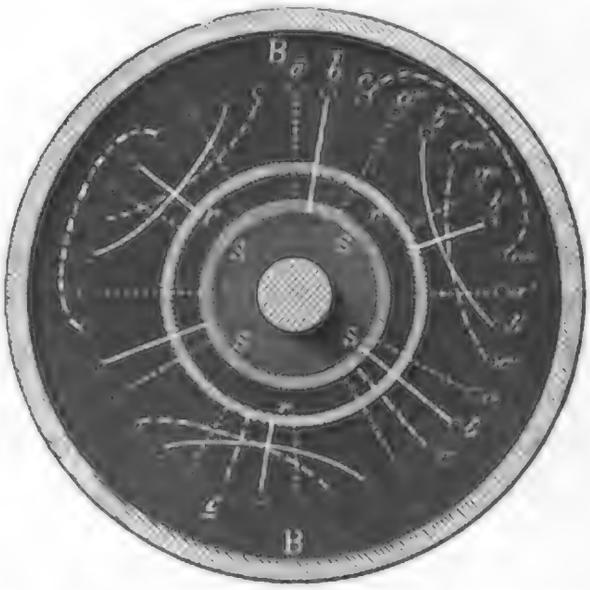
Seine größeren Apparate hat Stöhrer aus mehreren Hufeisenmagneten zusammengesetzt. So beschreibt er z. B. im 61sten Bande von Poggendorff's Annal. S. 417 einen Apparat mit 3 Hufeisenmagneten. Diese drei Magnete sind vertical gestellt, so daß die 6 Pole in einer horizontalen Ebene liegen und die Mittelpunkte der 6 Polflächen in einen Kreis fallen. Ueber diesen 6 Magnetpolen rotiren 6 Inductionsspiralen mit Eisenkernen um eine verticale Umdrehungsaxe. Es würde überflüssig seyn, hier eine Abbildung des ganzen Apparates zu geben, ich beschränke mich nur darauf, den Pachytrop dieser Maschine näher zu beschreiben.

Diese Vorrichtung ist natürlich complicirter als die entsprechende des so eben betrachteten kleinen Apparates; sie ist in einer an der Rotationsaxe befestigten Büchse von Messingblech enthalten, und die Drähte, welche die verschiedenen Verbindungen vermitteln, sind des besseren Schutzes wegen ganz mit Harz zugegossen, so daß man die Einrichtung nicht sehen kann, ohne die ganze Vorrichtung aus einander zu nehmen und zu zerstören; gerade deshalb aber dürfte hier die Beschreibung derselben, welche mir Hr. Stöhrer behufs der Publication aufs bereitwilligste mittheilte, am Platze seyn.

An der verticalen Umdrehungsaxe ist eine hölzerne Scheibe *A A* befestigt, welche man in Fig. 246 im Durchschnitt, Fig. 247 von Oben gesehen dargestellt sieht. Auf derselben sind in horizontaler Lage 12 Federn

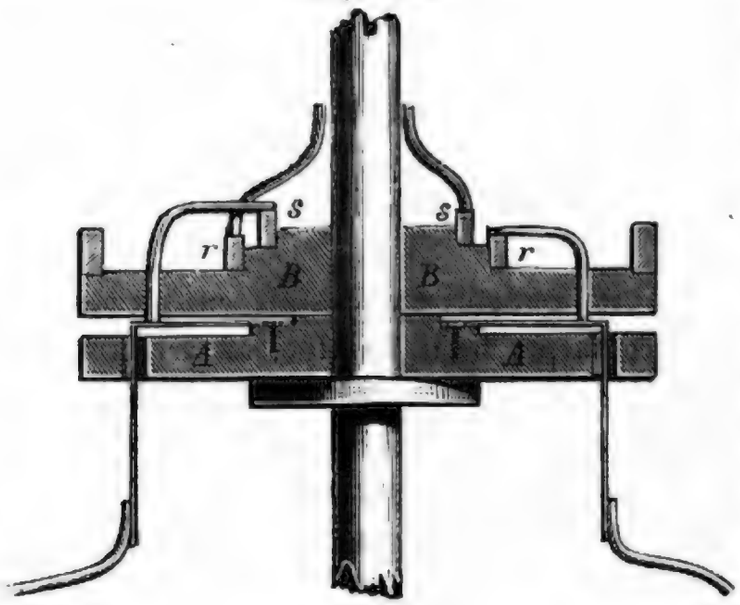
von Neuſilber aufgeſchraubt, von denen eine jede mit einem der 12 Drahtenden der 6 Inductionsſpiralen verbunden iſt, wie es die Figur andeutet; ſo bilden gewiſſermaßen die Federn 1 und 2 die Enden der Spirale *I*, 3 und 4 die der Spirale *II* u. ſ. w.

Fig. 245.



Ueber dieſer Scheibe *A* iſt nun eine zweite *B* drehbar, welche gleichfalls in Fig. 246 im Durchſchnitt, Fig. 245 aber von oben geſehen dargeſtellt iſt. Dieſe Scheibe hat in gleichen Abſtänden 36 Löcher, durch welche 36 Drähte vertical herabgehen, die dann oben theils zu dem Meſſingringe *r*, theils zum Meſſingringe *s*, theils von einem Loch zum andern führen. Die Drähte, welche in Fig. 245 punktirt angedeutet ſind, dienen, um die 6 Spiralen neben einander, die geſtrichelt punktirten, um ſie hinter einander zu combiniren; durch die Drähte, welche ausgezogen ſind, werden endlich je zwei Spiralen hinter einander combinirt.

Fig. 246.

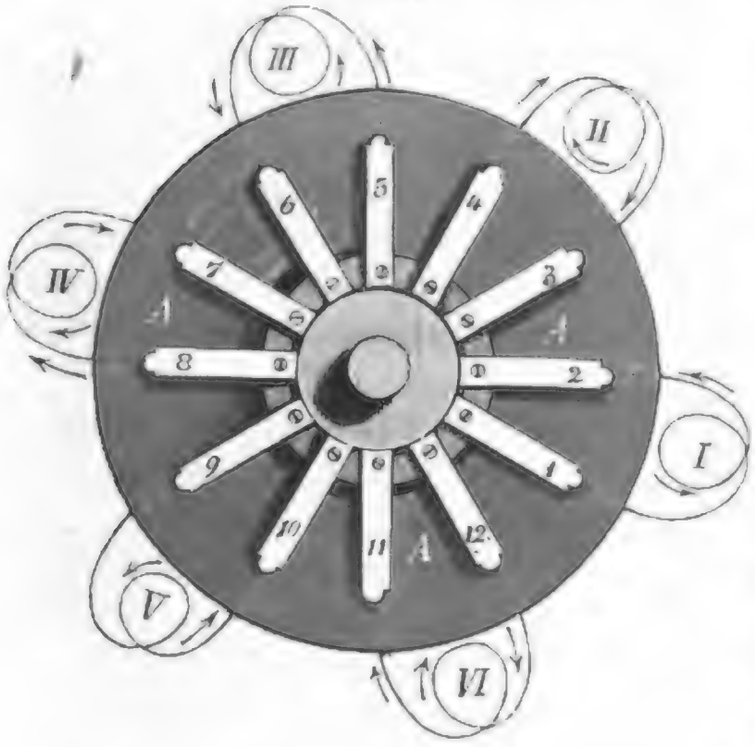


Die obere Scheibe ſey ſo gedreht, daß *a* auf 1, *a'* auf 2 u. ſ. w. fällt, ſo iſt klar, daß alle (für den Augenblick) poſitiven Drahtenden der 6 Spiralen mit dem äußeren Meſſingringe *r*, alle negativen aber mit dem inneren *s* verbunden ſind. Von *r* aber führt ein Draht zum erſten, von *s* ein anderer zum zweiten Kamme des Commutators, der poſitive Strom aller Spiralen gelangt alſo direct zum Ringe *r*, von da über den Commutator zum Ringe *s* und von dieſem aus in die Spiralen zurück. Hier ſind die 6 Spiralen neben einander combinirt, bezeichnet man die elektromotoriſche Kraft und den Widerſtand

einer Spirale mit e und r, so ist für diese Combination die elektromotorische Kraft gleich e, der Widerstand $\frac{r}{6}$.

Wird die obere Scheibe B so gedreht, daß b auf 1 kommt, so ist das negative Drahtende von I mit s, das positive von II mit r verbunden, während durch das Drahtstück $b'\ b'''$ das negative Drahtende von II mit dem positiven von I verbunden ist; ein positiver von s kommender Strom tritt also durch b, welches auf 1 steht, in die Spirale I, nachdem er dieselbe durchlaufen hat, wird er von 2 aus durch den Draht $b'\ b'''$ nach 4 geführt, um in die Spirale II überzugehen, er verläßt dieselbe bei 3 und gelangt von da über b'' nach dem äußeren Ringe r. — Auf dieselbe Weise sind bei dieser Stellung die Spiralen III und IV hinter einander combinirt; eben so V und VI. Es ist also die elektromotorische Kraft des ganzen Apparates $3\,e$, der Widerstand $\frac{2}{3}r$.

Fig. 247.



Sollen endlich die 6 Spiralen hinter einander combinirt werden, so daß bei der elektromotorischen Kraft $6\,e$ der Widerstand $6\,r$ ist, so wird c auf 1 gestellt. Jetzt geht der Strom, nachdem er die Spirale 1 durchlaufen hat, von c' über c''' nach 4, von da durch die Spirale II zur Feder 3, dann über $c''\ \overline{c}$ in die Spirale III und so fort durch alle Spiralen, um endlich aus der Spirale VI zur Feder 11 und von dieser durch den Draht $\underline{c}$ zum Ring r zu gelangen, während das entgegengesetzte Drahtende der ersten Spirale durch den Draht c mit dem inneren Ring s verbunden ist.

Die ganze eben beschriebene und durch die Figuren in $\frac{1}{2}$ der natürlichen Größe dargestellte Vorrichtung ist in einer Büchse von Messingblech enthalten.

Vergleichung der magnetoelektrischen Rotationsmaschinen mit anderen Elektromotoren. 250 Weber hat es zuerst versucht, genaue

Meſſungen mit magnetoelektriſchen Rotationsmaſchinen anzuſtellen und ihre Wirkungen auf abſolutes Maaß zu reduciren (P. A. LXI. 431). Die Weber'ſche Methode läßt ſich aber auch bei anderen Einheiten und mit anderen Inſtrumenten in Anwendung bringen, durch welche die Verſuche leichter anzuſtellen und die Reſultate leichter zu überſehen ſind; kurz man kann die Conſtanten, von welchen die Stärke des Stromes einer magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine abhängt, in derſelben Weiſe beſtimmen, wie die Conſtanten eines Volta'ſchen Elementes, vorausgeſetzt, daß der Strom im Schließungsbogen ſtets gleiche Richtung hat. Weber leitete den Strom der Rotationsmaſchine durch eine Drahtrolle und beobachtete, welche Ablenkung dieſelbe an einem Magnetometer hervorbrachte. Wenn es nicht auf die äußerſte Genauigkeit ankommt, ſo kann man auch ſtatt dieſer Drahtrolle und ſtatt des Magnetometers eine gewöhnliche Tangentenbuſſole in Anwendung bringen.

In den Schließungsbogen der auf Seite 677 abgebildeten Rotationsmaſchine wurde die Tangentenbuſſole gebracht, welche bei allen früher auf S. 255 beſprochenen Verſuchen gedient hatte. Als die Spiralen neben einander combinirt waren und die Kurbel zweimal in der Secunde umgedreht wurde, war die Ablenkung der Tangentenbuſſole 11°; die Stromſtärke war alſo $70 \,.\, \mathit{tang.}\ 11^0 = 70 \,.\, 0{,}194 = 13{,}58$.

Nun wurde bei ſonſt unveränderten Umſtänden ein Eiſendraht eingeſchaltet, deſſen reducirte Länge gleich 61 iſt. Bei gleicher Umdrehungsgeſchwindigkeit war jetzt die Ablenkung 5,5°, alſo die Stromſtärke $70 \,.\, 0{,}096 = 6{,}72$; wir haben alſo die Gleichungen

$$13{,}58 = \frac{E}{R},$$

$$6{,}72 = \frac{E}{R + 61},$$

woraus ſich ergiebt

$$R = 60,$$
$$E = 814.$$

Combinirt man die beiden Spiralen hinter einander, ſo hat man, wie bereits oben erwähnt wurde, die doppelte elektromotoriſche Kraft und den 4fachen Widerſtand. Für den Fall alſo, daß der Widerſtand im Schließungsbogen gegen den der Spiralen vernachläſſigt werden kann, wäre alſo die Stromſtärke

$$\frac{2 \,.\, 814}{4 \,.\, 60} = 6{,}78 = 70 \,.\, 0{,}0968 = 70 \,.\, \mathit{tang.}\ 5^0\ 32'.$$

Als der Verſuch angeſtellt, d. h. als eine der Tangentenbuſſolen ohne ſonſtigen merklichen Widerſtand in den Schließungsbogen des Inſtrumen-

tes eingeschaltet wurde, ergab sich bei der schon angeführten Umdrehungsgeschwindigkeit eine Ablenkung von 5,7°, was mit der berechneten sehr nah übereinstimmt.

Nach diesen Versuchen wäre also der Widerstand einer solchen Inductionsspirale ungefähr gleich 120, während bei der angegebenen Umdrehungsgeschwindigkeit die elektromotorische Kraft einer Spirale 814, also nahe eben so groß ist, wie die eines Bunsen'schen Bechers.

Bei jeder Umdrehung der Kurbel macht die Rotationsaxe des Inductors 7 Umdrehungen, in obigem Falle also 14 Umdrehungen in der Secunde, was 28 Polaritätswechsel in den Eisenkernen der Spiralen ausmacht.

Nach diesen Auseinandersetzungen lassen sich jetzt auch annähernd der Widerstand und die elektromotorische Kraft für die verschiedenen Combinationen der großen Stöhrer'schen Maschine berechnen, vorausgesetzt, daß die Spiralen den unsrigen gleich, und daß bei gleicher inducirender Kraft der Magnetpole gleichfalls 28 Polaritätswechsel in der Secunde vorkommen; für die erste der drei Combinationen hat man

$$R = \frac{120}{6} = 20$$
$$E = 814,$$

für die zweite

$$R = \frac{2 \cdot 120}{3} = 80$$
$$E = 3 \cdot 814 = 2442,$$

für die letzte endlich

$$R = 6 \cdot 120 = 720$$
$$E = 6 \cdot 814 = 4884,$$

wonach man für gegebene Schließungsbogen ziemlich annähernd die Wirkungen jenes größeren Apparates berechnen kann.

Die elektromotorische Kraft der magnetoelektrischen Rotationsapparate hängt von der Umdrehungsgeschwindigkeit ab, wie dies Weber durch seine bereits citirten Messungen nachgewiesen hat. Auch mit unserer kleineren Maschine habe ich dergleichen Messungen gemacht. Als die Kurbel nur einmal in der Secunde umgedreht wurde, erhielt man 8,5° Ablenkung; während also die Zahl der Polaritätswechsel in der Secunde von 28 auf 14 herabkam, nahm die Stromstärke nur im Verhältniß von 0,194 zu 0,149 oder von 1 : 0,76 ab.

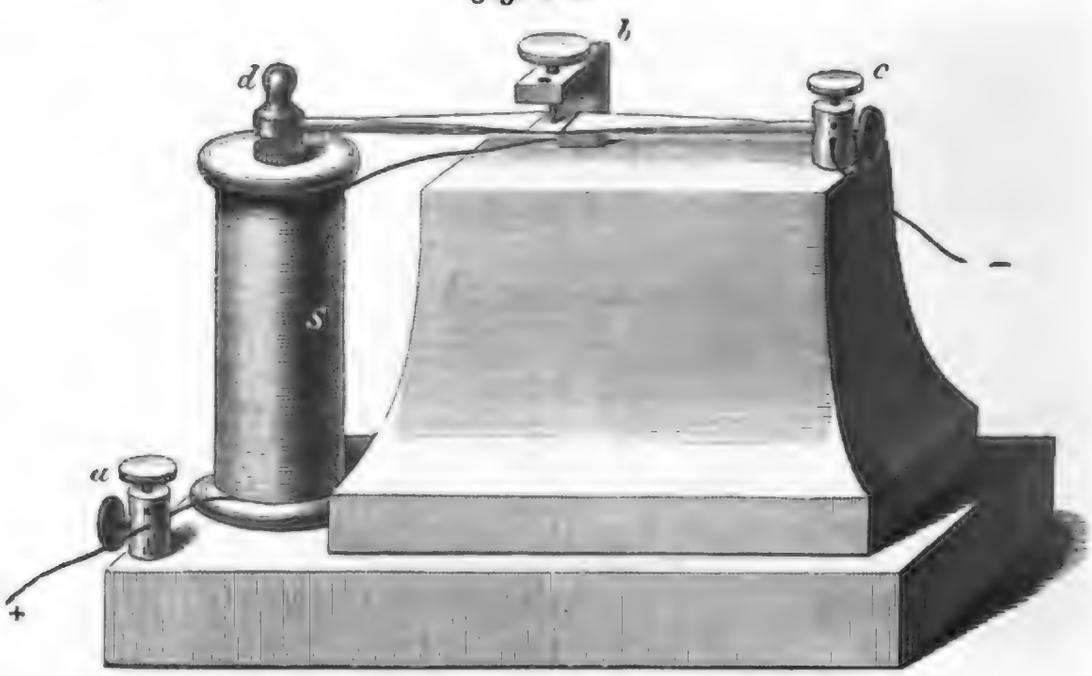
Im Allgemeinen nimmt also die elektromotorische Kraft mit der Rotationsgeschwindigkeit zu, aber nicht in gleichem Verhältniß. Ob die elektromotorische Kraft für eine bestimmte Geschwindigkeit ein Maximum erreicht, um über dieselbe hinaus wieder abzunehmen, oder ob sich die elek-

tromotoriſche Kraft aſymptotiſch einem größten Werthe nähert, iſt noch nicht ermittelt.

251 **Elektromagnetiſche Apparate.** Der Neef'ſche Apparat, welcher bereits in meinem Lehrbuche der Phyſik (3te Aufl. 2ter Band, S. 248) beſchrieben worden iſt, wurde von Deſaga in Heidelberg vereinfacht und verbeſſert; aus der Deſaga'ſchen Form des Apparates entwickelte ſich die in Fig. 248 abgebildete.

S iſt eine Spirale von dünnem überſponnenem Kupferdraht, welcher auf eine Hülſe von Holz gewickelt iſt. Die beiden Drahtenden dieſer Spirale

Fig. 248.



führen zu den Meſſingſtändern *a* und *b*. Im Innern der Holzhülſe befindet ſich ein Bündel von Eiſendrähten.

In dem Meſſingſäulchen *c* iſt ein federnder Kupferſtreifen befeſtigt, deſſen anderes Ende in einem kleinen Zwiſchenraum über dem Drahtbündel in der Spirale ein eiſernes Knöpfchen *d* trägt. Die Kupferfeder drückt ungefähr in der Mitte ihrer Länge ſchwach gegen eine von Oben herabkommende Platinſpitze an, welche ſich am unteren Ende einer in dem Ständer *b* angebrachten Schraube befindet. Da, wo die Kupferfeder mit der Spitze in Berührung kommt, iſt gewöhnlich ein kleines Platinplättchen aufgeſetzt.

Der eine Pol eines Volta'ſchen Elementes wird nun bei *a*, der andere bei *c* eingeſchraubt. Der bei *a* eintretende Strom durchläuft die Spirale *S*, gelangt aus derſelben zum Ständer *b*, von welchem er durch die erwähnte Platinſpitze auf die Kupferfeder übergeht, um von dieſer nach *c* und dem anderen Pole des Elektromotors geführt zu werden.

Dieser Strom macht das Eisendrahtbündel, welches sich in der Spirale *S* befindet, magnetisch, der eiserne Knopf bei *d* wird niedergezogen und dadurch die Berührung zwischen der Platinspitze und der Kupferfeder aufgehoben, also der Strom unterbrochen; in Folge davon verliert das Eisendrahtbündel seinen Magnetismus, die Feder geht in die Höhe, der Strom wird wieder hergestellt, um sogleich wieder unterbrochen zu werden. So dauert dieses Spiel der Schließung und Oeffnung der Kette in rascher Aufeinanderfolge fort; an der Platinspitze beobachtet man dabei die Lichterscheinung, welche bereits auf Seite 423 beschrieben wurde.

Bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes bildet sich nun in der Spirale *S* der Extrastrom, sobald eine entsprechende Nebenschließung vorhanden ist. Befindet sich der menschliche Körper in dieser Nebenschließung, so erhält er die bekannten Schläge; die Einschaltung des Körpers kann nun hier auf verschiedene Weise ausgeführt werden.

1) Die eine Handhabe ist bei *b*, die andere bei *c* eingesetzt; hier bildet der menschliche Körper eine Nebenschließung statt der directen Leitung zwischen *b* und *c* mittelst der Kupferfeder. Nach der Unterbrechung des Hauptstromes bilden jetzt der Elektromotor, die Spirale *S* und der menschliche Körper eine zusammenhängende Leitung, der Schlag des Extrastromes kann also durch den Körper gehen.

2) Die eine Handhabe ist in *a*, die andere in *b* befestigt; bei dieser Combination ist nach der Unterbrechung des Hauptstromes der Elektromotor ausgeschaltet und die Spirale *S* nur noch durch den menschlichen Körper geschlossen, welcher also auch in diesem Falle den Schlag des Extrastromes erhält.

3) Die eine Handhabe ist bei *a*, die andere bei *c* eingeschraubt: jetzt wird nach Unterbrechung des primären Stromes das Volta'sche Element, welches denselben lieferte, nur noch durch den menschlichen Körper geschlossen seyn, die Spirale *S* ist ausgeschaltet, sie kann also ihren Extrastrom nicht durch den menschlichen Körper senden, man wird also in diesem Falle keinen Schlag empfinden.

Die Figur 248 ist nach einem vom Mechanicus Hild in Cöln trefflich ausgeführten Apparate, von dem er mir eine Zeichnung mitzutheilen die Güte hatte, gemacht. Ganz ähnlich sind auch die Apparate eingerichtet, welche Dr. Reinsch in der mechanischen Werkstätte der Gewerbeschule zu Zweibrücken anfertigen läßt.

Es versteht sich von selbst, daß sich dasselbe Princip der Stromunterbrechung auch bei eigentlichen Inductionsapparaten in Anwendung bringen läßt. Denken wir uns die Spirale *S*, welche in diesem Falle aus dickerem Drahte bestehen kann, mit einer zweiten dünndrahtigen Inductionsspirale umgeben, deren freie Drahtenden mit metallenen Handgriffen

versehen sind, so wird der Körper, welcher die Handhaben faßt, den Schlag des Inductionsstroms erhalten, welcher bei dem an der Platinspitze stattfindenden Oeffnen und Schließen des Hauptstroms in der äußeren Spirale inducirt wird.

253 **Wirkung von Eisendrahtbündeln auf die Stärke des Extrastromes.** Wenn in einer Drahtspirale, welche in den Schließungsbogen eines Volta'schen Elementes eingeschaltet ist, ein Bündel von Eisendrähten liegt, so ist der Oeffnungsschlag weit stärker, als wenn ein massiver Eisencylinder eingeschoben ist. Diese Beobachtung wurde zuerst von Bachhoffner und Sturgeon gemacht (Annales of Electricity Vol. I. p. 481). Eine nähere Untersuchung dieser merkwürdigen Erscheinung wurde von Magnus unternommen und in Poggendorff's Annalen Band XLVIII. S. 95 publicirt.

Früher glaubte man, die Wirkung der Drahtbündel beruhe darauf, daß das zum Draht verwendete Eisen ein viel weicheres sey als das zu Stäben verarbeitete. Magnus zeigte aber, daß selbst Bündel von gehärtetem Stahl noch stärkere Zuckungen geben als ein massiver Cylinder des weichsten Eisens; die stärkere Wirkung der Drähte beruht also auf der Trennung der Masse. Sind die einzelnen Drahtstäbchen durch Firniß oder durch Ueberspinnen vor metallischer Berührung geschützt, so wird dadurch die Wirkung noch etwas erhöht.

Um zu untersuchen, ob vielleicht die Drahtbündel durch den Strom der Spirale stärker magnetisirt würden als ein massiver Eisenstab, beobachtete Magnus die Ablenkung einer in der Nähe aufgestellten Bussole; es ergab sich, daß die Drahtbündel keineswegs stärker magnetisirt waren, daß also die stärkeren Zuckungen, welche sie hervorbringen, nur durch Induction beim Oeffnen der Kette entstehen.

Ein Bündel von Eisenstäbchen wurde durch leichtflüssiges Metall zu einem Cylinder zusammengeschmolzen; dieser gab aber jetzt keine so starke Wirkung als ein massiver Eisenstab; das Drahtbündel hatte also die verstärkende Kraft durch die metallische Verbindung der einzelnen Stäbchen verloren. Dasselbe Resultat ergab sich, als das Drahtbündel in einem hohlen Cylinder leicht flüssigen Metalls von $\frac{1}{4}$ Zoll Wanddicke und in eine dünnwandig gezogene Messingröhre gesteckt wurde; wurde aber die eine oder die andere dieser Umhüllungen der Länge nach aufgeschlitzt, so trat die Wirkung der Drähte ganz auf dieselbe Weise wieder hervor, wie wenn gar keine Umhüllung vorhanden wäre.

Faraday erklärt die vermehrte Wirkung beim Oeffnen eines durch eine Spirale laufenden Stromes im Wesentlichen auf folgende Weise: Der elektrische Strom, welcher eine Spirale durchläuft, erzeugt, wenn die

Kette unterbrochen wird, in einer benachbarten parallel laufenden Drahtwindung einen Inductionsstrom von gleicher Richtung; fehlt aber dieser Nebendraht, so erzeugt der Strom bei seinem Verschwinden diesen gleich gerichteten Strom in dem Schließungsdrahte selbst, indem eine Windung auf die andere inducirend wirkt.

Wenn sich nun aber innerhalb der Spirale ein Eisenstab befindet, so verschwindet beim Oeffnen der Kette gleichzeitig auch der durch den Strom im Eisen hervorgerufene Magnetismus; das Verschwinden des Magnetismus wirkt aber wie das Verschwinden von elektrischen Strömen; der verschwindende Magnetismus inducirt in dem Leitungsdrahte gleichfalls einen Strom, welcher dem verschwindenden Strome des Drahtes gleich gerichtet ist, daher die Verstärkung durch das Eisen.

Diese Erklärung bedarf nun, wie Magnus nachweist, noch einer Ergänzung. Der verschwindende Strom im Draht inducirt nämlich auch gleich gerichtete Ströme im Eisen, wodurch dem Verschwinden des Magnetismus entgegengewirkt und die verstärkende Wirkung desselben geschwächt wird. Alles, was die Bildung dieser Ströme in der Eisenmasse hindert, wird also natürlich auch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus erhöhen müssen; da nun in einem Drahtbündel die durch das Verschwinden des Hauptstromes inducirten Ströme nicht so ungehindert sich bilden können wie im massiven Eisen, so ist klar, daß der Effect des verschwindenden Magnetismus des Drahtbündels auch nicht durch diese Ströme vermindert wird, wie dies beim massiven Eisen der Fall ist.

Wenn das Eisendrahtbündel mit einer Hülle umgeben ist, die aus einem nicht magnetischen Metall besteht, so wird der verschwindende Magnetismus der Eisenstäbchen zunächst seine inducirende Wirkung auf seine metallische Hülle äußern und nicht auch auf die Spirale, weshalb in diesem Falle das Drahtbündel kaum so viel wirkt wie ein massiver Eisenstab.

Eiserne Röhren verstärken gleichfalls den Oeffnungsschlag mehr als massive Cylinder, und zwar um so mehr, je mehr bei gleichem äußeren Durchmesser die Masse abnimmt, daher eine Röhre von Eisenblech starke Zuckungen giebt. Werden die Röhren der Länge nach aufgeschlitzt, so wird der Schlag ebenfalls verstärkt; diese durch das Aufschlitzen bewirkte Verstärkung ist namentlich merklich bei dickeren Wänden, wie z. B. bei einem Flintenlauf, weniger bedeutend bei dünnen Blechröhren.

Ein spiralförmig gewundenes Eisenblech, dessen Querschnitt keinen in sich geschlossenen Leiter bildet, wirkt auch wie ein Drahtbündel.

Alle diese Erscheinungen lassen sich auf das oben angedeutete Erklärungsprincip zurückführen.

254 **Inducirte Ströme, welche bei galvanometriſcher Gleichheit ungleich phyſiologiſch wirken.** Der galvanometriſche Effect eines Stromes iſt der chemiſchen Wirkung ſtets proportional. Anders verhält es ſich, wie Dove durch gründliche Unterſuchungen nachgewieſen hat, mit den phyſiologiſchen Wirkungen. Für Maſchinen-Elektricität hatte man längſt einen ſolchen Unterſchied gefunden, denn der den Körper heftig erſchütternde Schlag der Leidner Flaſche vermag nicht die Magnetnadel abzulenken; er erlangt dieſe Eigenſchaft erſt dadurch, daß man die Entladung verzögert, etwa durch Einſchaltung einer naſſen Schnur, wodurch aber die phyſiologiſche Wirkung verſchwindet.

Aehnliche Verhältniſſe ſtellen ſich nun auch bei Strömen anderer Elektricitätsquellen heraus. Die gewöhnlichen galvaniſchen Ströme, mächtig auf die Magnetnadel wirkend, ſind nicht im Stande merkliche phyſiologiſche Wirkungen hervorzubringen, während die Inductionsſtröme bei unbedeutendem galvanometriſchen Effect heftige Zuckungen veranlaſſen.

Vorſſelmann de Heer berichtet von einer Inductionsſpirale, welche heftige Schläge gab, ohne einen merklichen galvanometriſchen Effect zu geben. Auf einem hölzernen Cylinder waren 90 Fuß eines $1/20$ Zoll dicken Kupferdrahtes ſpiralförmig aufgewickelt, über dieſe Spirale aber eine zweite, beſtehend aus einem 1500 Fuß langen Kupferdraht von $1/90$ Zoll Durchmeſſer. Die erſte Spirale bildet den Schließungsdraht der Kette, die letztere den Inductionsdraht. Schloß man dieſe Inductionsſpirale durch den Körper, ſo erhielt man einen wahrhaft unerträglichen Schlag, ſo oft der die innere kürzere Spirale durchlaufende Strom unterbrochen wurde. Schaltete man aber zwiſchen den Drahtenden der Inductionsſpirale ſtatt des menſchlichen Körpers ein Galvanometer ein, ſo wich die Nadel deſſelben nicht von der Stelle, wenn der Hauptſtrom unterbrochen wurde. (P. A. XLVI. 530.)

Aus einer Verſtärkung der phyſiologiſchen Effecte läßt ſich alſo durchaus nicht auf eine vermehrte galvanometriſche Wirkung ſchließen, und ſo hat denn auch Dove nachgewieſen, daß die kräftigeren Schläge, welche durch Anwendung von Drahtbündeln ſtatt maſſiver Eiſenkerne hervorgebracht werden, keineswegs von einer Verſtärkung des Stromes herrühren. (P. A. XLIX. 72.)

Zu dieſen Verſuchen wandte er eine Vorrichtung an, welche er mit dem Namen eines Differential-Inductors bezeichnete. Auf zwei Holzröhren von $18\frac{1}{2}$ Linien innerer Weite wurden Kupferdrähte von $2\frac{1}{2}$ Linien Dicke aufgewunden, und zwar ſo, daß auf jeden Cylinder 29 Windungen kamen; dieſe beiden Drahtwindungen bildeten, mit einander verbunden, den Schließungsdraht einer galvaniſchen Kette. In dieſe mit dem Hauptdraht umgebenen Holzröhren wurden nun zunächſt die Inductions-

spiralen gelegt, von denen jede aus 400 Fuß eines ½ Linie dicken übersponnenen Drahtes bestand. Diese Rollen waren kreuzweise verbunden, so daß die Richtung des inducirten Stromes der einen Drahtrolle der Richtung des in den andern erregten entgegengesetzt war. — Die freien Enden dieser Inductionsrollen wurden darauf vermittelst Handhaben durch den Körper oder durch ein Galvanometer geschlossen.

War in die Höhlung der beiden Inductionsspiralen kein Eisen eingelegt, so hob sich natürlich ihre Wirkung gegenseitig auf. Bei Schließung und Oeffnung der Kette erhielt weder der Körper einen Schlag, noch zeigte das Galvanometer eine Ablenkung. Dieses Gleichgewicht wurde aber alsbald gestört, wenn ein Eisenstab in eine der Spiralen eingeschoben wurde.

Die zu diesen Versuchen dienenden Cylinder verschiedener Eisensorten waren 11 Zoll 7 Linien lang, und hatten 11 ½ Linien im Durchmesser.

War durch Einschieben eines Eisenstabes in die eine Spirale das Gleichgewicht gestört worden, so konnte es durch allmäliges Hinzufügen von Eisendrähten in die andere Spirale wieder hergestellt werden. Die Zahl der Eisenstäbchen, welche diese Compensation bewirkte, war aber für das Gefühl und das Galvanometer nicht dieselbe. Im Folgenden ist angegeben, wie viel Eisenstäbchen in die eine Spirale eingeschoben werden mußten, um die Wirkung des in der andern befindlichen Eisenstabes zu compensiren, und zwar je nachdem dieser Stab aus verschiedenem Material verfertigt war.

	Für das Galvanometer.	Für das Gefühl.
Schmiedeeisen . . .	110 + x	15
Weicher Stahl . . .	92	24
Harter Stahl . . .	28	7
Graues Roheisen . .	27	11

Bei dem Schmiedeeisen reicht die in die Höhlung der Spirale hineingehende Anzahl der Drähte nicht hin, um das galvanometrische Gleichgewicht herzustellen.

Ohne Ausnahme ist also die zur Compensation einer massiven Eisenmasse erforderliche Drahtmenge für das Galvanometer größer als für das Gefühl, oder mit anderen Worten: bei gleichem galvanometrischen Effect ist die von dem Drahtbündel herrührende Erschütterung bedeutender als die der massiven Eisenmasse.

»In Beziehung auf das galvanometrische Gleichgewicht,« sagt Dove, »muß noch eine eigenthümliche Erscheinung erwähnt werden, welche dafür spricht, daß die Steigerung der Ströme bis zu dem Maximum ihrer »Intensität bei gleicher mittlerer Stärke nicht in derselben Zeit geschieht. »Angenommen, die Anzahl der Drähte überwiege den massiven Cylinder,

»ſo daß der Ausſchlag der Nadel im Sinne des durch die Drähte erzeug»ten Stromes geſchieht, und man vermindert dieſen Ueberſchuß durch »Herausnehmen von Drähten allmälig, ſo ſieht man nicht die Ablenkung »durch immer kleiner werdende Ausſchläge in die entgegengeſetzte durch »Null übergehen, ſondern man ſieht die Nadel, wie von einem ſchnellen »kurzen Stoße getrieben, nach der Seite des früheren Ausſchlags ſich be»wegen, dann plötzlich anhalten und im Sinne des andern Stromes weit »langſamer zurückgehen. Dieſe zuckende Bewegung findet auch dann »noch ſtatt, wenn der zweite Strom bereits überwiegt, ſo daß dem kurzen »Stoße auf der einen Seite dann eine weitere Schwingung nach der ent»gegengeſetzten folgt.«

Dieſe Zuckung rührt nun offenbar daher, daß der Strom, welcher durch die Eiſendrähte inducirt wird, raſcher verlaufend ſeine Wirkung zuerſt auf die Nadel ausübt. Demnach aber wird das »galvanometriſche Gleichgewicht« bei dieſen Verſuchen mit dem Differentialinductor gar nicht durch die ungeſtörte Ruhe der Nadel erkannt. Die Beſtimmung des galvanometriſchen Gleichgewichts hat alſo nach dieſer Methode immerhin etwas Mißliches.

Auch ohne Differentialinductor laſſen ſich die eben beſprochenen Reſultate im Weſentlichen nachweiſen. Mit einer Inductionsſpirale von $1\frac{1}{2}$ Millimeter dickem Draht (die Länge deſſelben iſt mir unbekannt) erhielt ich beim Oeffnen und Schließen des Hauptſtroms an einen Multiplicator folgende Ablenkungen durch den Inductionsſtrom:

Ohne Einſchiebung	6,5°
Mit einem Bündel dünner Eiſendrähte (1mm dick, gefirnißt)	45°
Mit einem Bündel dicker Eiſendrähte (1 Linie Dick, gefirnißt)	48°
Mit einem maſſiven Eiſenkern	63°

Der Hauptſtrom war durch ein kleines Daniell'ſches Element erzeugt worden. Bei raſch auf einander folgenden Schließungen und Oeffnungen des Hauptſtromes waren ohne Einſchiebung die Schläge, ſelbſt bei befeuchteten Händen, nicht über das Handgelenk fühlbar; nach Einſchiebung des maſſiven Eiſenſtabes ging der Schlag in der eben angedeuteten Stärke durch 2 Perſonen, nach Einſchiebung des Bündels dickerer Drähte durch 4, während das Bündel dünner Drähte die Schläge in gleicher Stärke in einer Kette von 5 Perſonen fühlbar machte.

Zehn der dünneren und fünf der dickeren Eiſenſtäbchen geben, in die Spirale eingeſchoben, eben ſo ſtarke Schläge wie der maſſive Eiſenſtab, bei phyſiologiſcher Gleichheit waren aber die galvanometriſchen Wirkungen ſehr ungleich, denn es war die Ablenkung des Galvanometers

für die 10 dünneren Stäbchen 28°

für die 5 dickeren Stäbchen · 36°
für den massiven Eisenstab 63°

Mit einer andern Inductionsspirale, welche aus 1800 Fuß eines nur 1^{mm} dicken Drahtes gebildet war, zeigten sich die galvanometrischen Effecte bei weitem schwächer (ohne Einschiebung von Eisen höchstens 2°, bei eingeschobenem massivem Eisenstab 20°), während die physiologischen Effecte viel kräftiger waren.

Aus den obigen Versuchen Dove's geht auch hervor, daß das graue Roheisen sich in seinen inducirenden Wirkungen dem Drahtbündel am meisten anschließt; man hätte demnach dasselbe als eine Substanz anzusehen, in welcher das magnetisirbare Eisen kein zusammenhängendes Continuum bildet.

Im Magnetisiren von Stahlnadeln zeigte sich der durch die Drahtbündel, im Magnetisiren von weichem Eisen der durch den Eisenstab inducirte Strom überwiegend.

Da nun das Elektromagnetisiren des weichen Eisens einen andauernden Strom erfordert, das Magnetisiren des Stahls aber auch bei den plötzlichsten Entladungen erfolgt; da man ferner aus Versuchen mit Reibungselektricität weiß, daß durch Abgleichen eines gleich großen elektrischen Gegensatzes sehr verschiedene Wirkungen entstehen, je nach der Dauer dieses Abgleichens, indem eine rasche Entladung Schläge, eine langsame hingegen die Ablenkung des Galvanometers hervorzubringen vermag, so kann dies Resultat als ziemlich entscheidend für die Annahme gelten, daß in einem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine bestimmte Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit sich durch den Draht bewegt, als wenn dieselbe durch einen massiven eisernen Cylinder in Bewegung gesetzt wird.

Eiserne Röhren, wie ein Flintenlauf, eine Blechröhre u. s. w., zeigten in Beziehung auf die Inductionsströme (Nebenströme) ein ähnliches Verhalten, wie es bereits Sturgeon und Magnus für den Gegenstrom (Extrastrom) ermittelt hatten.

Der durch den Schließungsdraht einer Thermosäule inducirte Strom verhält sich genau so, wie der durch den Schließungsdraht einer galvanischen Kette hervorgebrachte; das gleiche Resultat erhielt Dove auch für den Strom einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine.

Ströme, inducirt durch Eisen, welches durch Entladung einer elektrischen Batterie elektromagnetisirt wurde. 255 Die Untersuchungen, welche Dove über den Inductionsstrom der Leidner Flasche anstellte, können erst hier abgehandelt werden, weil sie mit dem eben besprochenen in naher Beziehung stehen. — Für Reibungselektricität construirte

Dove einen besondern Differentialinductor, nach dem oben angegebenen Princip, bei welchem aber ganz besondere Sorgfalt auf gehörige Isolation der Drähte verwendet worden war. — Bei kreuzweiser Verbindung der Nebenspiralen findet natürlich Stromgleichheit statt, welches Prüfungsmittel man auch anwenden mag, so lange die Spiralen leer bleiben; dieses Gleichgewicht wird aber sogleich aufgehoben, sobald ein Metall in eine der Spiralen eingeschoben wird; der dann hervortretende Strom wirkt aber nicht auf die Galvanometornadel; er giebt, auf Jodkalium geprüft, keine chemische Zersetzung, und magnetisirt weiches Eisen nicht in der Weise, daß eine danebenstehende Magnetnadel abgelenkt würde, oder darauf gestreute Eisenfeile sich aufrichtete.

Die physiologische Wirkung eines durch den Schließungsdraht der Batterie im Nebendraht inducirten Stroms wird durch Einschieben von Stäben aller nicht magnetischen Metalle geschwächt, und zwar um so mehr, je besser leitend das Metall ist. Bei vorher compensirten Spiralen erhält man daher desto stärkere Erschütterungen, je besser leitend das in eine derselben hineingelegte Metall ist. Der nach der Methode von Rieß durch die Harzfiguren geprüfte Strom geht dabei von den leeren Spiralen aus, die hervortretende Erschütterung ist also eine Folge des schwächenden Einflusses des eingeführten Metalls.

Aufgeschlitzte Metallröhren wirken nicht in dieser Weise schwächend.

Cylinder von Schmiedeeisen, Stahl, Gußeisen so wie auch Röhren von Eisenblech, welche nicht aufgeschlitzt sind, schwächen ebenfalls die physiologische Wirkung des Stromes.

Die physiologische Wirkung wird hingegen verstärkt durch aufgeschlitzte eiserne Röhren und besonders durch gut isolirte Drahtbündel von Eisen. Ein in den Handgelenken fühlbarer Schlag der gleichartig verbundenen Nebenspiralen ging bei Einführung zweier solcher Drahtbündel bis in die Hälfte des Oberarms, während er durch Einführung zweier Cylinder von Schmiedeeisen so geschwächt wurde, daß er nur in den Vorderhänden bemerkbar war.

Hier zeigte sich also ein wesentlicher Unterschied in der inducirenden Wirkung des Eisens, je nachdem dasselbe durch den Strom einer galvanischen Kette oder den Entladungsstrom einer Leidner Flasche magnetisirt wird. Die inducirende Wirkung des spiralförmigen Schließungsdrahtes einer galvanischen Kette auf einen Nebendraht wird nämlich stärker, wenn Eisen in beliebiger Form in denselben hineingelegt wird, während der Schließungsdraht einer Leidner Flasche schwächer inducirend auf den Nebendraht wirkt, wenn eine massive Eisenstange in ihn hineingelegt wird, als wenn er leer ist, hingegen stärker, wenn dies Eisen in Form eines Drahtbündels angewendet wird.

In Beziehung auf das Magnetisiren von Stahlnadeln durch den Inductionsstrom sind die Erscheinungen ganz dieselben, der primäre Strom mag durch galvanische Elektricität oder durch Reibungselektricität hervorgebracht seyn, und es findet hier nicht der Unterschied statt, welcher in Beziehung auf die physiologischen Effecte sich zeigt.

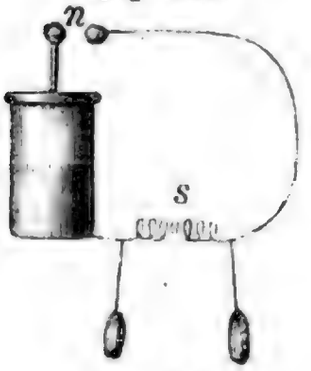
Die thermischen Effecte des durch Reibungselektricität inducirten Stromes werden sowohl durch massive Eisenstäbe als auch durch eiserne Drahtbündel geschwächt.

Die verschiedenen Effecte, welche das Eisen innerhalb einer Inductionsspirale hervorbringt, faßt Dove in folgender Weise unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt zusammen.

»Der in einem, das Eisen spiralförmig umgebenden Drahte wirksame »primäre elektrische Strom erzeugt im Momente, wo er entsteht, in dem »Eisen elektrische Ströme, während seiner Dauer magnetische Polarität, »welche sich langsamer steigert als jener Strom, im Moment seines Auf»hörens wiederum einen elektrischen Strom. Der beim Aufhören des pri»mären Stromes erzeugte zweite elektrische, mit dem primären gleichge»richtete Strom wirkt dem durch den Magnetismus erzeugten entge»gen. — Hatte, wie es beim galvanischen Magnetisiren der Fall ist, der »Magnetismus während der längeren Dauer des Stromes Zeit sich zu »entwickeln, so überwiegt die Wirkung desselben die entgegengesetzte des »bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugten elektrischen Stromes. »Alle gegen die Bildung elektrischer Ströme angewandten Mittel steigern »daher nur eine vom massiven Eisen bereits auch ausgeübte Wirkung. »Ist hingegen der primäre Strom so schnell vorübergehend, wie der einer »sich entladenden elektrischen Batterie, hatte also der Magnetismus nicht »Zeit sich vollständig zu entwickeln, so überwiegt der bei dem Aufhören »des primären Stromes erzeugte elektrische die Wirkung des verschwin»denden Magnetismus. Das Zerstören dieser elektrischen Ströme durch »Auflösen der Masse in Drähte, kehrt daher hier die Wirkung völlig um, »indem es den Ausschlag erst auf Seiten des verschwindenden Magnetis»mus bringt, der vor dieser Trennung auf Seiten der elektrischen Ströme »war. — Die Gleichgewichtsgränze beider ist aber für die ther»mischen, physiologischen und magnetischen Wirkungen nicht »dieselbe, weil nämlich die Abhängigkeit jeder einzelnen derselben von der »Intensität des verschwindenden Magnetismus eine andere seyn wird, als »ihre Veränderung durch den entgegenwirkenden elektrischen Strom; für »die magnetisirenden Wirkungen waltet daher noch die Wirkung des ver»schwindenden Magnetismus vor, wenn für die thermischen hingegen »der elektrische Strom überwiegt und die physiologischen Erscheinun»gen auf beide Seiten dieser Gränze fallen.«

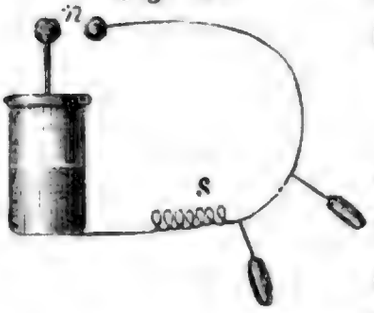
256 **Extraſtrom für Reibungselektricität.** Auch dieſen hat Dove experimentell nachgewieſen, und zwar auf folgende Weiſe. In dem Schließungsbogen der Leidner Flaſche iſt der ſpiralförmig gewundene Draht *s* Fig. 249 eingeſchaltet. Iſt nun eine Nebenſchließung, die mittelſt der Handhaben durch den Körper in der Weiſe angebracht wird, wie es Fig. 249 zeigt, ſo erhält man in dem Moment, in welchem ein Funke bei *n* überſpringt, eine Erſchütterung, welche ausbleibt, wenn die Nebenſchließung wie in Fig. 250 angebracht iſt. Im erſtern Falle iſt der ſpiralförmige Theil des Schließungsdrahtes durch den Körper geſchloſſen, im letztern nicht.

Fig. 249.



Wird bei der Anordnung Fig. 249 ein Bündel Eiſendraht in die Spirale gelegt, ſo wird der Schlag dadurch verſtärkt.

Fig. 250.



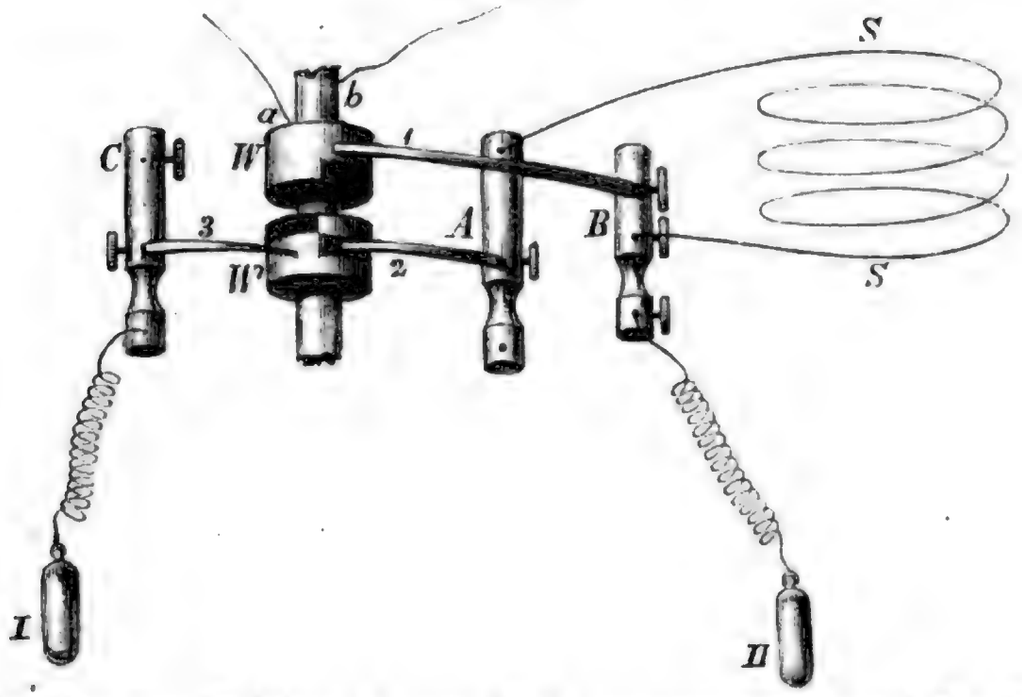
257 **Gegenſtrom zu Anfang und zu Ende eines primären.** Nach Faraday's Anſicht, ſoll ſich, der Induction an einem Nebendraht analog, bei Schließung eines Volta'ſchen Elementes durch einen langen ſpiralförmig gewundenen Draht ein Gegenſtrom (Extraſtrom) bilden, welcher dem primären entgegen wirkt, alſo ſeine Wirkung ſchwächt, während beim Oeffnen der Kette ein dem primären gleichgerichteter Extraſtrom ſich bildet, weshalb denn auch der Oeffnungsſchlag und der Oeffnungsfunke kräftig ſind, während beim Schließen der Kette keine poſitive Wirkung zu verſpüren iſt.

Die Exiſtenz des bei der Schließung der Kette ſich bildenden Gegenſtroms iſt erſt von Dove auf experimentellem Wege genügend nachgewieſen worden. (P. A. LVI, 251.)

Er wandte zu dieſem Zweck als primären Strom den einer magnetoelektriſchen Rotationsmaſchine an, von welcher die zum Verſtändniß nothwendigen Theile Fig. 251 abgebildet ſind. Auf der Rotationsaxe ſind zwei eiſerne Walzen angebracht, *W* von der eiſernen Axe iſolirt, *W'* unmittelbar auf derſelben ſitzend. Bei *a* iſt das eine, bei *b* das andere Drahtende der Inductionsrollen befeſtigt, ſo daß alſo *W* gleichſam den einen, *W'* den andern Pol der rotirenden Drahtrollen bildet. Auf der ganz metalliſchen Oberfläche von *W* ſchleift die Metallfeder 1, auf *W'* ſchleifen die Federn 2 und 3. Nun aber befindet ſich auf *W'* ein Holzeinſatz, welcher ſo geſtellt iſt, daß die Feder 2 auf denſelben kommt, wenn die Verbindungslinie der beiden rotirenden Rollen rechtwinklig ſteht auf

der Verbindungslinie der beiden Pole; die Feder 3 ist mit W' beständig in metallischer Verbindung.

Fig. 251.



Zwischen den Ständern A und B ist entweder ein kurzer dicker Draht oder eine Spirale S eingeschaltet, welche aus einem langen dünnen übersponnenen Drahte gebildet ist, und in deren Höhlung man Bündel von Eisendrähten hineinlegen kann.

In die Ständer B und C sind die Handhaben I und II eingeschraubt.

Während der Rotation des Ankers von 0 bis 90°, d. h. von der horizontalen Stellung vor den Polen des Magneten bis zur lothrechten, senkrecht auf die Verbindungslinie derselben sind die rotirenden Spiralen vollkommen metallisch geschlossen; der Strom geht von W durch die Feder 1 auf den Ständer A, von da durch den kurzen Draht oder die Spirale S über B durch 2 nach W'. Sobald aber die Feder 2 auf den Holzeinsatz kommt, ist diese Circulation unterbrochen, der Oeffnungsschlag der rotirenden Spiralen geht nun durch die von dem menschlichen Körper zwischen I und II gebildete Nebenschließung, während die Spirale S ganz ausgeschaltet ist, der Oeffnungsstrom der Spirale S ist also ausgeschlossen, während der Schließungsstrom derselben seine Wirkung äußern kann.

Faßt man I und II in die Hände, so fühlt man die Schläge am heftigsten, wenn A und B nur durch einen kurzen dicken Draht verbunden sind, wenn also die Spirale S gar nicht da ist. — Wird der kurze Verbindungsdraht durch die Spirale S ersetzt, so sind die Schläge schwächer, noch schwächer, wenn in die Spirale S ein Bündel von Eisendraht eingeschoben wird.

Daraus ergiebt sich nun, wenn ich Dove's Auseinandersetzung richtig

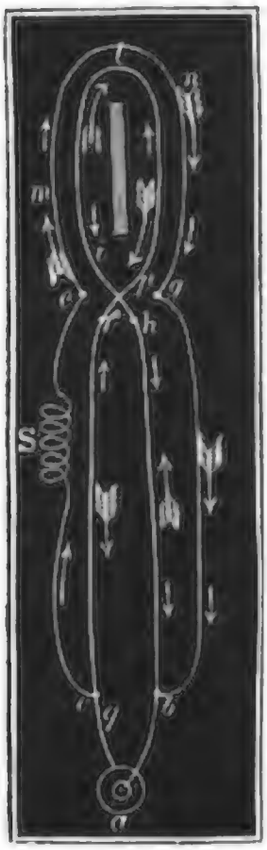
aufgefaßt habe, die Exiſtenz des Gegenſtroms zu Anfang des primären auf folgende Weiſe:

Durch die Rotation vor den Magnetpolen bildet ſich, wenn ſich zwiſchen *A* und *B* nur ein kurzer Draht befindet, in den rotirenden Spiralen ein Strom *p*, durch deſſen Verſchwinden der Schlag bewirkt wird. Iſt aber zwiſchen *A* und *B* die Spirale *S* eingeſchaltet, ſo erzeugt der Strom *p* bei ſeinem Entſtehen in *S* einen entgegengerichteten Strom *e*, welcher den Strom *p* ſchwächt; da aber *p* geſchwächt, da es $p - e$ geworden iſt, ſo kann nun auch der dieſem Strom $p - e$ folgende Oeffnungsſchlag nicht ſo ſtark ſeyn wie vorher. Das Einlegen eines Bündels von Eiſendraht ſchwächt die Schläge natürlich noch mehr, weil durch daſſelbe der Werth von *e* vergrößert wird.

Bei dieſer Einrichtung kann alſo der zu Anfang des primären Stromes in *S* gebildete Nebenſtrom ſeine Wirkung äußern, während der ſonſt maskirende Einfluß des Oeffnungsſchlages von *S* hier ganz eliminirt iſt.

258 **Edlund's Verſuche über den Extraſtrom.** Am unzweideutigſten hat Edlund den Extraſtrom auch zu Anfang des primären nachgewieſen. (P. A. LXXVII, 161.) Der Apparat, den er zu dieſem Zwecke anwandte, hat folgende in Fig. 252 ſchematiſch dargeſtellte Einrichtung. *a* iſt eine galvaniſche Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach *b* und *c* führen; von hier führen wieder vier Drähte *bg*, *bh*, *cf* und *ce* zu den Drahtenden zweier Drahtlagen von überſponnenem Kupferdraht, welche ein Magnetometer umgeben und von denen jede für ſich eine geſchloſſene Leitung von mehreren parallel neben einander liegenden Drahtwindungen bildet *emng* ſtellt die äußere, *fplih* die innere Drahtlage dar. Die Verbindung iſt, wie man leicht überſieht, von der Art, daß der Strom, welchen die Batterie *a* liefert, ſich bei *c* und *b* theilt und die beiden Drahtlagen in entgegengeſetzter Richtung durchläuft, ſo daß bei gehöriger Abgleichung keine Ablenkung des Magnetometers durch den primären Strom der Kette *a* entſtehen kann. In unſerer Figur iſt der Verlauf des durch den Elektromotor *a* direct erzeugten Stromes durch die ungeflügelten Pfeile ⟶ dargeſtellt.

Fig. 252.



Bei *q* war eine einfache Vorrichtung getroffen, wodurch die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geſchloſſen werden konnte. Um dem

Hauptstrom eine entgegengesetzte Richtung geben zu können, war in die Leitung *cab* ein Commutator eingeschaltet. Das Magnetometer war mit einem Spiegelapparat versehen und wurde mit einem Fernrohr beobachtet, wie es bei magnetischen Beobachtungen gebräuchlich ist.

Wenn nun bei *S* eine Drahtrolle eingeschaltet wird, so muß, wenn das Gleichgewicht am Magnetometer nicht gestört werden soll, in die Zuleitung zur inneren Drahtlage, etwa zwischen *c* und *f*, ein entsprechender Widerstand eingeschaltet werden; um aber zu verhindern, daß in dieser zwischen *c* und *f* angebrachten Einschaltung ein Inductionsstrom entstände, welcher dem in *S* erzeugten, welcher untersucht werden soll, entgegenwirken könnte, so wurde dieser Einschaltungsdraht über zwei Glasstangen gewunden, welche 3 Meter weit von einander abstanden, so daß also der Draht zwischen den Glasstangen geradlinig ausgespannt war.

Wurde nun, nachdem die Widerstände so abgeglichen waren, daß die innere und äußere Drahtlage am Magnetometer sich das Gleichgewicht hielten, der Strom bei *q* unterbrochen, so bildete sich in der Spirale *S* ein Extrastrom, welcher in der Richtung circulirt, wie es die gefiederten Pfeile ⟹ andeuten, welcher also, die innere und die äußere Drahtlage in gleicher Richtung durchlaufend, den Magnetometerstab ablenken muß.

Wird die Kette wieder geschlossen, so muß das nämliche Verhältniß stattfinden, d. h. es wird auch jetzt der bei der Schließung in *S* inducirte Extrastrom die beiden Drahtlagen in gleicher (den gefiederten Pfeilen entgegengesetzter) Richtung durchlaufen, es findet gegen den vorigen Fall nur der Unterschied statt, daß ein Theil des Inductionsstroms durch die Leitung *cab* strömt.

Aus dem Ohm'schen Gesetze läßt sich aber ableiten, daß die Einwirkung des bei *S* inducirten Stroms auf den Magnetometerstab die nämliche bleibt, wenn auch ein Theil desselben durch die Leitung *cab* geht. — Denken wir uns, der Widerstand dieser Leitung sey gleich Null, so geht der ganze Inductionsstrom nur durch die äußere Drahtlage, gar nicht durch die innere; der durch die äußere Drahtlage gehende Strom wird aber eine bestimmte Ablenkung *A* bewirken; wäre dagegen der Widerstand von *cab* unendlich groß, so wird der Strom jetzt nur die beiden Drahtlagen mit ihren Zuleitungsdrähten zu durchlaufen haben; bei gleicher elektromotorischer Kraft in der Inductionsspirale ist jetzt der zu überwindende Leitungswiderstand doppelt so groß als im vorigen Fall, die Stromstärke also halb so groß, die halb so große Stromstärke durchläuft aber jetzt in gleicher Richtung beide Drahtlagen, die Einwirkung auf die Magnetnadel ist also in beiden Fällen gleich; daß dasselbe aber auch für jeden endlichen Werth des Leitungswiderstandes von *cab* der Fall ist, ergiebt sich nach dem Ohm'schen Gesetz folgendermaßen. Der Schließungsstrom der

Spirale gelangt von S nach c und theilt ſich hier in zwei Aeſte, $cfplhb$ und cab. Es ſey R der Widerſtand des erſteren, W der des letzteren, ſo iſt der Geſammtwiderſtand, welchen der Strom auf dem Wege von c bis b zu überwinden hat, $\frac{RW}{R+W}$; der Strom hat aber, von b über n und m nach S zurückkehrend, nochmals den Widerſtand R zu überwinden, die Stärke des Stromes, welche durch die äußere Drahtlage $gnme$ geht, iſt alſo

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}$$

wenn E die elektromotoriſche Kraft bezeichnet, mit welcher die Spirale S den Strom inducirt. Auf den Magnetometerſtab wirkt aber nicht allein die äußere Drahtlage, ſondern auch die innere; dieſe iſt aber von einem Strome durchfloſſen, deſſen Stärke

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}\cdot\frac{W}{R+W}$$

iſt, mithin können wir die Geſammtwirkung auf den Stab proportional ſetzen

$$\frac{E}{R+\frac{RW}{R+W}}\left(1+\frac{W}{R+W}\right)=\frac{E}{R\left(1+\frac{W}{R+W}\right)}\left(1+\frac{W}{R+W}\right)$$

$$=\frac{E}{R}.$$

Die Wirkung auf den Magnetſtab iſt alſo von W, der Größe des Leitungswiderſtandes cab, unabhängig, und zwar gerade ſo groß, als ob zwiſchen cab gar keine leitende Verbindung vorhanden wäre, wie dies bei dem Oeffnungsſtrom wirklich der Fall iſt.

Bei Anſtellung der Verſuche ergab ſich nun, daß der Ausſchlag des Magnetometers beim Schließen der Kette gleich und entgegengeſetzt war demjenigen, welcher beim Oeffnen entſteht, und daraus ergiebt ſich, daß die beim Oeffnen und Schließen einer galvaniſchen Kette mittelſt einer Drahtſpirale durch die Einwirkung des Stromes auf ſich ſelbſt entſtehenden Inductionsſtröme gleich groß ſind, wenn die inducirende Stromſtärke in beiden Fällen dieſelbe iſt.

Edlund wiederholte dieſe Verſuche mit 1, 2 und 3 Grove'ſchen Bechern, die er zur Erzeugung des primären Stromes anwandte, und fand, daß die beim Oeffnen und Schließen einer galvaniſchen Kette durch Einwirkung des Stromes auf ſich ſelbſt entſtehenden

Inductionsströme der inducirenden Stromstärke proportional sind.

Classification der elektrischen Ströme. Dove hat seine Unter- 259
suchungen über Inductionselektricität, welche theilweise in Poggendorff's Annalen erschienen sind, in einer Abhandlung zusammengestellt, welche in der Akademie der Wissenschaften zu Berlin gelesen wurde, und von welcher ein besonderer Abdruck unter dem Titel: »Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität« bei Reimer in Berlin im Jahre 1842 erschien. Am Schlusse dieser Abhandlung ordnet nun Dove die verschiedenen elektrischen Ströme nach der Zeitdauer, in welcher eine gegebene Elektricitätsmenge ausgeglichen wird. Beschränken wir uns nun auf die wichtigeren, so ist die Ordnung folgende:

1) Strom der sich entladenden Leidner Flasche nebst ihrem Gegen- und Nebenstrome; der durch ein Bündel von Eisendrähten inducirte Strom, wenn dasselbe durch eine elektrische Flaschenbatterie elektromagnetisirt worden war. — Bei starker physiologischer Wirkung afficiren sie ohne Verzögerung des Stromes die Galvanometernadel nicht.

2) Ströme, inducirt durch massives vermittelst Reibungselektricität magnetisirtes Eisen.

3) Ströme, durch Drahtbündel inducirt, wenn der magnetisirende Strom ein galvanischer, magnetoelektrischer oder thermoelektrischer ist.

4) Ströme, durch massives Eisen inducirt, wenn die primären Ströme, welche es elektromagnetisiren, von den eben genannten Quellen sind.

5) Strom einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine.

6) Strom der geschlossenen Hydro- oder Thermokette.

»In der Geschichte der Wissenschaft,« sagt Dove am Schlusse, »ist »das Anfangs- und Endglied dieser Reihe zuerst bekannt geworden. Sie »standen so weit auseinander, daß man an ihrer Identität zweifelte. Jetzt, »wo durch die Inductionserscheinungen eine Menge Mittelglieder gegeben »sind, ist die Abstufung so allmälig geworden, daß irgendwo eine Gränze »zu ziehen eine vollkommene Willkür seyn würde.«

So ist denn durch die eben besprochenen Untersuchungen unsere Kenntniß von den inducirten Strömen bis zu einem Punkte geführt worden, wo genaue Maaßbestimmungen das nächste Erforderniß zu weiteren Fortschritten auf diesem Felde sind; zunächst handelt es sich um genaue Bestimmung der Stromstärke und Zeitdauer inducirter Ströme, wozu die auf Seite 659 besprochene Weber'sche Methode ein treffliches Mittel bietet, und ihrer Abhängigkeit von der Anzahl der Windungen, Spiralen, ihrem Leitungswiderstand u. s. w.

260 **Elektrische Spannungserscheinungen und Funken an ungeschlossenen Inductionsspiralen.** Wenn man bedenkt, wie nach dem Vorhergehenden die Inductionsströme gewissermaßen ein Mittelglied bilden zwischen den galvanischen Strömen und den Entladungsströmen der Leidner Flasche, so läßt sich wohl erwarten, daß sich an den Enden einer geöffneten Inductionsspirale auch Spannungserscheinungen in weit höherem Grade zeigen müssen, als dies an den Polen einer nicht geschlossenen galvanischen Säule der Fall ist, bei welcher die Funken erst dann auftreten, wenn die Anzahl der Paare, aus welchen die Batterie zusammengesetzt ist, so enorm vermehrt wird, wie es bei Gassiot's Wasserbatterie (S. 422) der Fall ist. Sinsteden hat nun elektrische Spannungserscheinungen und selbst elektrische Funken an ungeschlossenen Inductionsspiralen wirklich hervorgebracht. (P. A. LXIX, 353.)

Um die Spannungserscheinungen an einer elektromagnetischen Inductionsrolle nachzuweisen, wandte Sinsteden folgende Vorrichtung an. Die Magnetisirungsspirale, welche den Strom der galvanischen Kette leitete, war auf ein 5 Zoll langes und $\frac{5}{4}$ Zoll weites Holzrohr gewickelt; sie bestand aus dickem Draht. Die rasch auf einander folgenden Unterbrechungen des Stromes wurden durch ein sogenanntes Blitzrad hervorgebracht, welches in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet war.

Diese Spirale wurde mit Wachstaffet umgeben und darauf eine Inductionsspirale von 3280 Fuß $\frac{1}{4}$ Linie dicken Kupferdraht gewickelt. Die beiden Drahtenden standen ungefähr $1\frac{1}{2}$ Fuß frei vor und konnten mittelst eines isolirenden Glasstabes an das Elektrometer gebracht werden. In der Höhlung der den Hauptstrom leitenden Spirale befand sich in einer Glasröhre ein 6 Zoll langes, aus isolirten Eisendrähten bestehendes Bündel von 1 Zoll Durchmesser.

Wenn durch Drehung des Blitzrades der Hauptstrom abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde, so gab jedes der ungeschlossenen Enden der Inductionsspirale nicht nur am Elektrometer starke Elektricität kund, sondern jedes dieser Enden gab für sich auch Funken, wenn ihm ein Leiter genähert wurde, und verursachte, in Berührung mit der Haut, ein empfindliches Brennen. Alle diese Erscheinungen wurden bedeutend verstärkt, wenn das gerade nicht untersuchte Ende der Inductionsspirale zur Erde abgeleitet war.

Die Funken der Inductionselektricität lassen sich am leichtesten zeigen, wenn man die freien Enden der Inductionsspirale bei gehöriger Isolirung einander ganz nahe bringt; wird der Stromunterbrecher des Hauptstroms rasch gedreht, so sieht man an dem kleinen Zwischenraum, welcher die Enden der Inductionsspiralen noch trennt, beständig Fünkchen überschlagen.

Aber nicht allein die Drahtenden der Inductionsspirale, sondern auch das Eisendrahtbündel zeigte Spannungselektricität. Befestigte man einen isolirten Eisendraht an das vom Glascylinder umgebene Eisendrahtbündel, und führte ihn an das Elektrometer, so divergirten die Goldblätter sehr stark. Näherte man dem Eisendrahtbündel einen spitzigen Leiter, so schlugen unaufhörlich glänzende Fünkchen über. Berührte man eine spitzige Kante des Eisendrahtbündels mit einer empfindlichen Hautstelle, so fühlte man hier ein schmerzhaftes Brennen.

Alle diese Erscheinungen fanden mutatis mutandis auch dann statt, wenn die besondere Schließungsspirale ganz beseitigt war und der Strom der galvanischen Kette durch die 3280 Fuß lange Spirale selbst geleitet und unterbrochen wurde. Im Moment der Unterbrechung des Stromes zeigte jedes Ende der Spirale, so wie das Eisendrahtbündel, jedes für sich Funken, elektrometrische und physiologische Erscheinungen. Auch zeigten sich diese Erscheinungen an den Enden der Spirale, wenn statt des Eisendrahtbündels ein massiver Eisenkern oder auch gar kein Eisenkern in der Spirale steckte; nur waren sie schwächer

Faßte man mit der einen Hand das Drahtende der Inductionsspirale, welches die äußersten Windungen macht, und welches mit *A* bezeichnet werden mag, berührte man mit der anderen Hand das eine oder andere Ende der Schließungsspirale, so empfand man ganz merkliche Erschütterungen, die sich bis in das Handgelenk erstreckten. Diese Erschütterungen sind, wie auch Sinsteden bemerkt, bereits von Masson und Breguet beobachtet worden (Archives de l'électricité 1842. p. 381). Faßte man das andere der Schließungsspirale zunächst liegende Ende der Inductionsspirale, welches *B* heißen mag, mit einer Hand und mit der anderen ein Ende der Schließungsspirale, so fühlte man nicht nur kein Zucken, sondern auch das Brennen, welches das Ende *B* für sich allein verursachte, hörte auf.

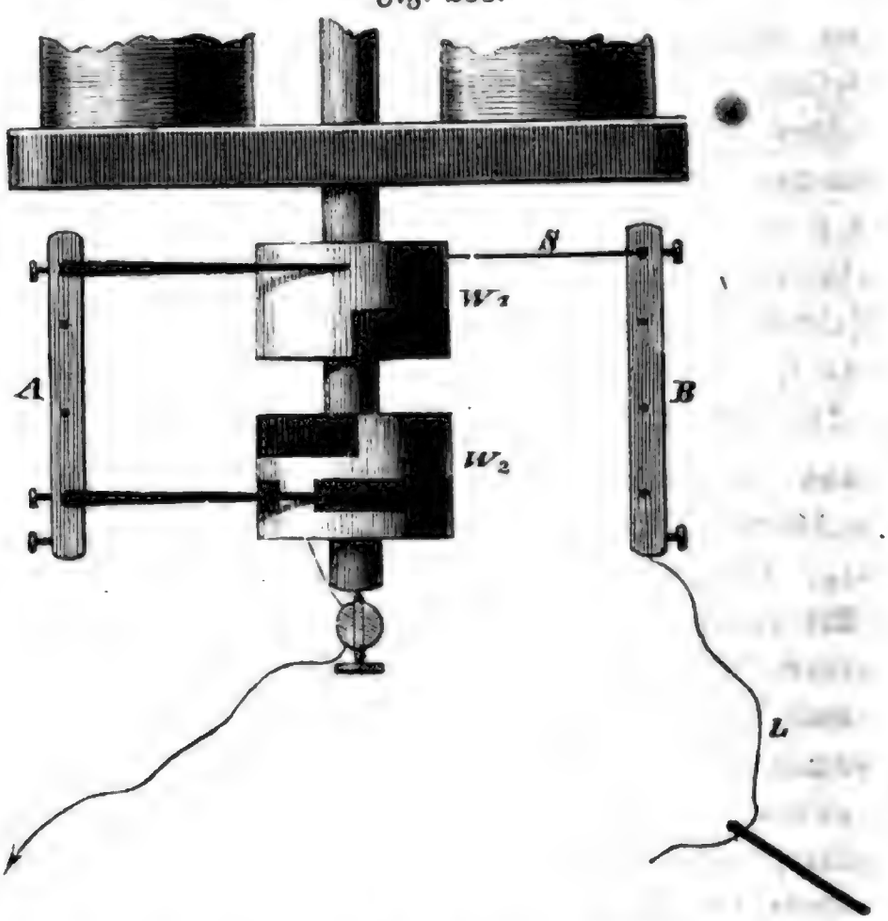
Auch an der magnetoelektrischen Rotationsmaschine hat Sinsteden ähnliche Funken und elektroskopische Effecte hervorgebracht. Der von ihm angewandte Apparat war ein Oertling'scher, an welchem für diesen Zweck besser für Isolation gesorgt war, als dies gewöhnlich bei solchen Apparaten der Fall ist. Die ganze Maschine stand auf 4 Scheiben von Gummi-Elasticum, welche $\frac{1}{2}$ Zoll dick waren. Die Ständer, welche die auf den Polwalzen schleifenden Federn tragen, erhielten 3 Zoll hohe, mit Schellack überzogene Glasfüße. Auf die Magnetpole war ein Stück Wachstaffet geklebt, die den Magnetpolen zugekehrten Enden der Eisendrahtbündel (welche bei dieser Maschine die Stelle der gewöhnlich in den rotirenden Spiralen befindlichen massiven Eisenkerne ersetzten), welche

$1\frac{1}{2}$ Linien weit von den Magnetpolen entfernt rotirten, waren mit einer dicken Lage von Schellack überzogen.

Endlich wurde die Holzſcheibe, durch welche die Maſchine in Bewegung geſetzt wird, mit einem gläſernen gefirnißten Handgriffe verſehen.

Von den Verſuchen Sinſteden's mit dem ſo vorgerichteten Apparate wollen wir folgende als die wichtigſten hervorheben: In den iſolirten Ständer *A* (Fig. 253) wurden zwei einfache Federn eingeſpannt; die

Fig. 253.



eine ſchleifte auf der Walze W^1 beſtändig auf Metall, die zweite traf bei jeder Umdrehung des Inductors 4mal auf einen Horneinſatz der anderen Walze W^2. Jeder Horneinſatz nahm den ſechsten Theil des Umfangs der Walze ein, ſo daß alſo die Spirale bei einer Umdrehung 4mal auf ſehr kurze Zeit geſchloſſen und 4mal auf etwas längere Zeit geöffnet wurde.

An dem iſolirten Ständer *B* wurde ein dünner Stahldraht *S* mit ſcharfer Spitze ſo eingeſchraubt, daß die Spitze der Walze W^1 beinahe berührte. Die Walze W^2 wurde mit dem Boden leitend verbunden.

Bei der Rotation des Inductors fand nun folgendes Statt. Berührten die beiden Federn des Ständers *A* das Metall auf beiden Walzen, ſo entſtand in der Spirale ein Strom und es konnte keine freie Elektricität an den Stahldraht *S* übergehen, zumal jetzt beide Walzen und der Ständer *A*

mit der Erde in leitender Verbindung standen. Traf die intermittirende Feder auf Horn, so hörte der Strom auf, und die Kraft, welche in diesem Moment der Unterbrechung den Extrastrom zu bilden strebt, treibt nun mit großer Energie die entgegengesetzten Elektricitäten auf beide Walzen; die Elektricität der Walze W^2 ist zum Boden abgeleitet, die Walze W^1 aber mit dem Ständer A ist isolirt und die freie Elektricität geht von W^1 auf S und den Ständer B über. — Wurde jetzt ein an dem Ständer B befestigter Leitungsdraht L an den Knopf eines Goldblattelektrometers gebracht, so zeigte sich freie Elektricität auch ohne Anwendung eines Condensators; die Goldblätter blieben, so lange die Maschine bewegt und der Leitungsdraht an den Elektrometerknopf gehalten wurde, in fortwährendem Hüpfen. — Wurde das Elektroskop nur einen Augenblick mit dem Leitungsdraht L berührt, so blieben die Goldblätter 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll weit aus einander stehen und zeigten, mit einer geriebenen Siegellackstange geprüft, wie von selbst einleuchtet, bald positive, bald negative Elektricität.

Zwischen der Stahlspitze S und der nahe gegenüber stehenden Walze W^1 schlugen unaufhörlich kleine Fünkchen über. Näherte man dem am Ständer B befestigten Leitungsdraht L den Rücken der Hand oder sonst eine empfindliche Hautstelle, so schlugen Fünkchen über, die ein schmerzhaftes Stechen verursachte, ähnlich demjenigen, welches man empfindet, wenn man den Knopf einer geladenen Leidner-Flasche berührt.

Auch der Stahlmagnet zeigte jetzt starke Spannungselektricität, indem er kräftig auf das Elektrometer wirkte und eine brennende Empfindung auf einer zarten Hautstelle verursachte. Ein spitziger Leiter, welcher mit keinem Theile der Maschine in irgend einer Verbindung stand, entlockte dem Stahlmagneten Fünkchen, wenn er demselben genähert wurde.

Brachte man den Leitungsdraht L an den Magnet, so erschienen noch lebhaftere Fünkchen, woraus geschlossen werden kann, daß der Stahlmagnet stets die entgegengesetzte Elektricität von W^1 und B habe.

Auch mit der oben beschriebenen Stöhrer'schen Maschine kann man einige Spannungserscheinungen nachweisen. Befestigt man in den Schraubklemmen a und b zwei kurze Drähte, die man mit zugespitzten Enden fast in Berührung bringt, so sieht man, wenn der Pachytrop auf Intensität gestellt ist, beim Drehen der Maschine Fünkchen durch den kleinen Zwischenraum überschlagen. Wird eine der Drahtklemmen, a oder b, zum Boden abgeleitet, von der anderen ein Leitungsdraht zu der unteren Condensatorplatte eines Goldblattelektroskops geführt, so wird der Condensator geladen, wenn man während der Umdrehung der Maschine die obere Condensatorplatte ableitend berührt. Entfernt man noch während der Drehung den Zuleitungsdraht, so divergiren die Pendel, wenn die obere

Condensatorplatte abgehoben wird. Der Ständer *a* zeigte stets positive, *b* stets negative Elektricität.

Daß man hier keine kräftigeren Spannungserscheinungen, namentlich keine Wirkung am Elektrometer ohne Condensator erhält, liegt an der mangelhaften Isolation, da die Maschine für diese Untersuchungen nicht hinlänglich isolirt ist. Wären *a* und *b* vollständiger isolirt, so würde man ohne Zweifel aus jeder dieser Drahtklemmen oder aus Drähten, welche in dieselben eingeschraubt sind, Fünkchen ziehen können, wenn die andere gehörig abgeleitet ist; ließe man die Fünkchen auf den Knopf oder die Platte eines Goldblattelektroskops übergehen, so müßte dieses auch ohne Anwendung eines Condensators divergiren. Bei gehöriger Isolirung würde ohne Zweifel eine große Stöhrer'sche Rotationsmaschine, wenn sie auf Intensität gestellt ist, sehr bedeutende Spannungswirkungen geben.

So hat denn Sinsteden durch seine interessante Untersuchung wesentlich zur Ergänzung unserer Kenntnisse von den Inductionsströmen beigetragen und von einer neuen Seite gezeigt, wie sie ein Mittelglied bilden zwischen Reibungselektricität und galvanischer Elektricität.

Schon vor der Publication der eben besprochenen Versuche Sinsteden's hat auch Dubois-Reymond die elektrische Spannung an den freien Enden ungeschlossener Inductionsspiralen durch die Zuckungen von Froschschenkeln nachgewiesen, die er mit dem Namen der unipolaren Inductionszuckungen bezeichnet und auf die wir weiter unten zurückkommen werden. Durch den Druck wurden diese Versuche von Dubois erst weit später bekannt gemacht, aber schon am 4ten April 1845 sprach er davon in einem Vortrage, den er in der physikalischen Gesellschaft zu Berlin hielt. So ist denn kein Zweifel, daß beide Gelehrte ihre Entdeckungen ganz unabhängig von einander machten, was auch schon aus dem Umstande hervorgeht, daß Beide auf ganz verschiedenem Wege zu dem Ziel gelangten, die elektrische Spannung an den freien Enden einer eingeschlossenen Inductionsspirale darzuthun. Das Verdienst des Einen wird durch die Entdeckung des Andern nicht im mindesten beeinträchtigt.

261 **Henry's Untersuchungen über Induction.** Die Untersuchungen Henry's über »elektrodynamische Induction« finden sich im 6ten Bande der Transactions of the American Philosophical Society, aus welchen sie mit Abkürzungen in Poggendorff's Annalen (Ergänzungsband von 1842, Seite 282) übergegangen sind. Die wichtigsten Resultate, welche durch diese Untersuchungen ermittelt wurden, sind folgende.

Die verschiedenen Wirkungen des Extrastromes hängen nicht in gleicher

Weise von der Länge der Spirale ab. Mit einem einfachen Element gab eine Bandspirale von 60 Fuß Länge (die Breite des Kupferblechs, aus welchem diese und die folgenden Spiralen gebildet waren, betrug $1\frac{1}{2}$ Zoll) schwache Oeffnungsfunken und keinen Schlag; eine solche Bandspirale von 93 Fuß Länge gab starke Funken und schwache Schläge; 5 Bandspiralen, zusammen 300 Fuß lang, gaben schwächere Funken, aber stärkere Schläge.

Es giebt jedoch in der Verstärkung der Schläge ebenfalls eine Gränze. Eine Rolle Kupferdraht, von $\frac{1}{16}$ Zoll Durchmesser, wurde successiv durch Zusätze von 32 Fuß langen Stücken verlängert. Nach den beiden ersten Zusätzen, also nach einer Verlängerung von 64 Fuß, fing der Glanz der Funken an abzunehmen, allein die Schläge nahmen an Stärke zu bis zu einer Drahtlänge von 575 Fuß, wo auch sie begannen schwächer zu werden.

Wendet man statt des einfachen Volta'schen Elementes eine Säule an, so werden die inductiven Effecte bei kurzen Spiralen geringer als sie bei dem einfachen Elemente waren, bei sehr langen Spiralen aber bringt eine Säule eine stärkere Inductionswirkung hervor, als ein einfaches Element.

Die eben besprochenen Beziehungen zwischen der Drahtlänge und der Stärke der verschiedenen Effecte des Extrastromes hat Henry nur im Allgemeinen, der Art nach ermittelt; eine genauere quantitative Untersuchung dieses interessanten Gegenstandes wäre sehr zu wünschen.

Bei Strömen, die durch den primären Strom in einer benachbarten Spirale inducirt wurden, ergaben sich ähnliche Resultate. Wird entweder die stromleitende Spirale oder die Inductionsspirale über eine gewisse Gränze verlängert, so nehmen die galvanischen Effecte des Inductionsstromes ab, während die Schläge verstärkt werden; aber auch hier giebt es eine weitere Gränze, über welche hinaus auch die Stärke der Schläge wieder abnimmt.

Bei vergrößertem Durchmesser des Drahtes wird auch die Gränze der Längendimensionen, bei welchen das Maximum der verschiedenen Effecte des Inductionsstroms stattfindet, weiter hinausgerückt, denn die Abnahme des Effectes bei zunehmender Länge ist nur eine Folge des vergrößerten Leitungswiderstandes; wird diese dadurch vermindert, daß man dickeren Draht anwendet, so fällt die schwächende Wirkung der Verlängerung weg.

Mit flachen Spiralen brachte Henry sehr merkliche Inductionserscheinungen hervor, wenn auch der Zwischenraum zwischen der stromleitenden und der Inductionsrolle ziemlich bedeutend war.

Ferner zeigte Henry, wie die inducirende Wirkung einer Spirale auf eine andere durch die Nähe eines guten geschlossenen Leiters geschwächt

wird. Befanden sich z. B. drei Bandspiralen über einander, von denen die unterste den primären Strom leitete, die oberste aber mit Handgriffen versehen war, so erhielt man beim Oeffnen der Kette starke Inductionsschläge aus der obersten Spirale, wenn die mittlere nicht geschlossen war, die Schläge verschwanden aber, als die mittlere Spirale gut metallisch geschlossen wurde.

Offenbar wirkt hier die inducirende Wirkung der primären Spirale zunächst auf denjenigen geschlossenen Leiter am stärksten inducirend, in welcher der Bildung von Inductionsströmen der geringste Widerstand entgegensteht.

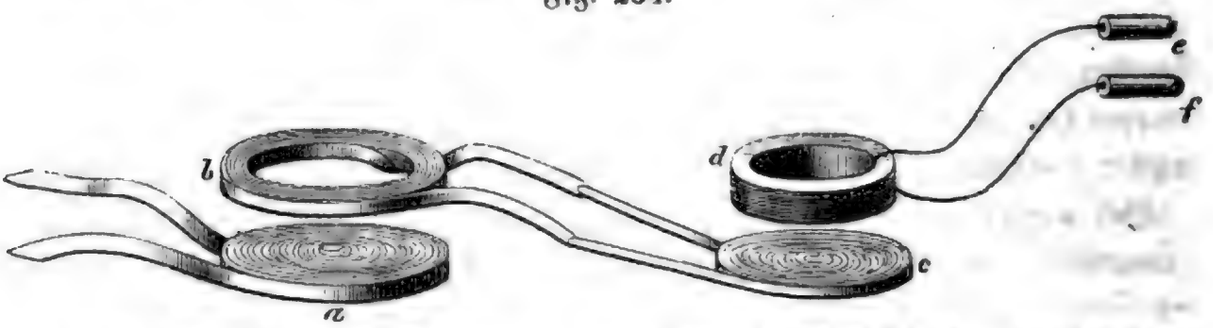
Schiebt man statt der mittleren Spirale eine gutleitende Metallplatte ein, so übt diese eine ähnliche schwächende Wirkung aus; eben so wenn sie sich nicht zwischen den beiden Spiralen, sondern über oder unter denselben befindet.

Einen solchen störenden Einfluß üben auch Hülsen von Messing aus, wenn auf sie Drahtspiralen aufgewunden sind, welche zu Inductionsversuchen dienen sollen; deshalb dürfen auch die Hülsen magnetoelektrischer Maschinen nicht von Messing seyn. — Der störende Einfluß der Metallhülsen kann bekanntlich dadurch aufgehoben werden, daß man sie aufschlitzt, weil dadurch die Bildung von Inductionsströmen in den Hülsen selbst verhindert wird.

Der wichtigste Theil der Untersuchung Henry's ist die Nachweisung von Inductionsströmen höherer Ordnung.

Der primäre Strom ging durch die 90 Fuß lange Bandspirale *a* (Fig. 254); über dieser befand sich die 60 füßige Bandspirale *b*; die

Fig. 254.



Enden von *b* waren mit denen einer dritten Bandspirale *c* verbunden, welche gleichfalls aus einem 60 Fuß langen, aber nur $^3/_4$ Zoll breiten Kupferstreifen gemacht war; da die Spirale *c* den Schließungsbogen von *b* bildet, so muß in *c* der Strom circuliren, welcher in *b* durch den Einfluß der Stromunterbrechung in *a* inducirt wird. Der Strom in *c* konnte nun außer dem Einfluß von *a* inducirend auf die Drahtrolle *d* (aus 1660 Ellen eines $^1/_{49}$ Zoll dicken Drahtes gebildet) wirken. In der That bekam man bei Anfassung der Handhaben *e* und *f* kräftige Schläge.

Aehnliche Resultate wurden auch mit anderen Combinationen von Draht- und Bandrollen erhalten.

Nennt man den Strom in *a* den primären, so ist der in *b* und *c* der secundäre, der in *d* endlich der tertiäre, oder es ist der Strom in *d* ein Strom dritter Ordnung, der in *b* und *c* ein Strom zweiter Ordnung, wenn der in *a* als Strom erster Ordnung bezeichnet wird.

Henry hat in gleicher Weise auch die Existenz von Inductionsströmen vierter und fünfter Ordnung nachgewiesen.

Was die Richtung der inducirten Ströme höherer Ordnung betrifft, welche beim Oeffnen des Hauptstromes entstehen, so besteht, nach Henry folgende Abwechselung:

Primärer Strom	+
Strom zweiter Ordnung . . .	+
Strom dritter Ordnung . . .	—
Strom vierter Ordnung . . .	+
Strom fünfter Ordnung . . .	—

Um die Richtung der inducirten Ströme zu bestimmen, verfuhr Henry folgendermaßen: die letzte Inductionsspirale, in Fig. 254 also *d*, wurde durch eine kleine Magnetisirungsspirale geschlossen und in diese eine Nähnadel eingeschoben. Diese Nadel wurde nun durch den Inductionsstrom, welcher beim Oeffnen des Hauptstroms entstand, magnetisirt, und aus ihrer Polarität auf die Richtung des sie magnetisirenden Inductionsstroms geschlossen.

Da jedoch diese Inductionsströme, namentlich die höhere Ordnung, nur momentan sind, so ist die Bestimmung der Stromrichtung aus dem Magnetisiren von Stahlnadeln sehr trüglich, wie wir dies bereits bei der Betrachtung der Untersuchungen von Rieß gesehen haben, was auch Poggendorff in einer Note zu dem Aufsatze Henry's bemerkt.

Endlich hat Henry auch noch die Inductionen elektrischer Ströme durch Reibungselektricität nachgewiesen, und zwar der Zeit nach noch früher als Rieß, der jedoch, als er seine Untersuchungen über Induction durch Reibungselektricität machte, noch keine Kenntniß von Henry's Arbeiten haben konnte, so daß also dieselbe Entdeckung selbstständig von beiden Physikern diesseits und jenseits des Oceans gemacht wurde. Da jedoch dieser Gegenstand bereits oben, bei Gelegenheit des Berichtes über die Rieß'schen Untersuchungen, ausführlich besprochen wurde, so kann wohl hier eine nähere Erörterung der entsprechenden Untersuchungen Henry's unterbleiben.

262 **Induction durch den Erdmagnetismus.** In dem 15ten Bande der Annales de chimie et de physique, Seite 34 befindet sich ein Abriß der Geschichte der durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme von Melloni.

Ich lasse hier das Wesentlichste von dem Inhalt dieses Aufsatzes folgen, welcher den jetzigen Standpunkt unserer Kenntnisse in diesem Gebiete darlegt.

Als Faraday im Jahre 1830 die Induction elektrischer Ströme in geschlossenen Leitern durch rasche Annäherung und Entfernung von Magneten entdeckt hatte, schloß er ganz richtig, daß auch der Erdmagnetismus in einem bewegten Metallbogen elektrische Ströme induciren müsse.

Der Versuch bestätigte seine Erwartung. Ein Eisenstab von 1 Fuß Länge und $^7/_8$ Zoll Durchmesser war mit einer Spirale von Kupferdraht umgeben, deren beide Enden mit den Drahtenden eines Multiplicators leitend verbunden waren. Der Stab wurde in der Richtung der Inclinationsnadel gehalten und dann rasch im magnetischen Meridian umgedreht, so daß er mit verwechselten Enden nun dieselbe Stellung einnahm wie vorher. Dabei machte die Nadel des Multiplicators einen Ausschlag von einigen Graden, um nach einigen Schwingungen wieder auf Null zurückzukehren; dreht man nun den Stab abermals um, so entsteht ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite. Wiederholt man diese Umdrehungen des Stabes mehrmals nach einander und zwar stets wenn die Nadel im Rückgang begriffen, die Gleichgewichtslage passirt, so summirt sich die neue Wirkung mit der vorhergehenden und die Nadel wird in Schwingungen versetzt, welche einen Bogen von 150 bis 160 Graden umfassen.

In dieser Form des Versuchs ist jedoch die inducirende Wirkung des Erdmagnetismus noch nicht direct nachgewiesen, denn der größte Theil des Stromes, welcher die Nadel ablenkt, wird von dem Erdmagnetismus nur indirect mittelst der Umkehrung der Polarität im Eisenstab hervorgebracht. Faraday entfernte deshalb den Eisenstab aus der Spirale und wiederholte dann die Versuche in der angegebenen Weise. Auch jetzt wurde die Nadel abgelenkt, obgleich viel schwächer als vorher; durch 10 bis 12malige Umdrehung der Spirale in den gehörigen Intervallen gelang es aber auch, einen Schwingungsbogen von 80 bis 90 Grad zu erreichen.

Diese Versuche sind in den beiden Abhandlungen beschrieben, welche Faraday über diesen Gegenstand im Jahre 1831 in den Philosophical Transactions publicirte (P. A. XXV. 91 und 142).

Kaum hatten die italienischen Naturforscher Nobili und Antinori Nachricht von Faraday's Entdeckung der Induction elektrischer

Ströme durch Stahlmagnete erhalten, als auch sie diese Versuche anstellten, um die Induction durch den Erdmagnetismus nachzuweisen, und zwar noch ehe sie die entsprechenden Abhandlungen Faraday's gelesen hatten; so haben sie diese Erscheinung gewissermaßen zum zweiten Male entdeckt.

Nachdem nun die inducirende Kraft unseres Planeten durch die Ablenkung der Magnetnadel dargethan war, kam es nur noch darauf an, Mittel zu finden, die durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme stark genug zu machen, um auch die übrigen Wirkungen elektrischer Ströme, chemische Wirkungen, Schläge, Funken u. s. w. hervorzubringen.

Faraday verfolgte aber diesen Gegenstand nicht, weil er mit anderen Untersuchungen beschäftigt war, und Nobili, welcher eine hierher gehörige Versuchsreihe begonnen hatte, mußte Italien verlassen. Kurz vor seinem Tode publicirte er jedoch mit Antinori noch eine zweite Abhandlung über die Induction durch den Erdmagnetismus, in welcher nachgewiesen wurde, daß, wenn man die Versuche ohne Eisenkerne anstellt, die Stärke der inducirten Ströme mit dem Durchmesser der Drahtwindungen zunimmt (Antologia di Firenze, Nro. 138).

Die bis dahin in verwandten Zweigen gemachten Erscheinungen benutzend, nahmen Linari und Palmieri gegen Ende des Jahres 1840 das Studium der durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme wieder auf, und nach einigen Jahren machten sie der Akademie zu Paris die Anzeige, daß es Ihnen gelungen sey, mit Hülfe eines Apparates, den sie eine magneto-elektrotellurische Batterie nannten, Schläge und Wasserzersetzung zu erhalten (Comptes rendus 1843. 1er sem. p. 1442). Statt des eisernen Stabes wandten sie eine Reihe hohler eiserner Röhren an; die elektrischen Ströme, welche die Drahtwindungen durchliefen, wurden durch einen ähnlichen Mechanismus gesammelt, wie an der Clarke'schen Rotationsmaschine und konnten alsdann durch gesäuertes Wasser oder durch die Hände des Experimentators geleitet werden.

Eine zur Prüfung des Gegenstandes von der Akademie niedergesetzte Commission, zu welcher auch Melloni gehörte, fand diese Wirkungen vollkommen bestätigt. Ein Beweis, daß die beobachteten Ströme wirklich vom Erdmagnetismus inducirt waren, ergab sich daraus, daß alle Wirkungen aufhörten, wenn die Rotationsaxe der Maschine in den magnetischen Meridian gestellt wurde (vollständig kann erst die inducirende Wirkung des Erdmagnetismus verschwinden, wenn die Umdrehungsaxe in der Richtung der Inclinationsnadel liegt). Obgleich die Wirkungen schwach waren, so gaben sie doch Hoffnung, daß man mittelst dieser Ströme auch noch Funken hervorbringen werde. — Linari und Palmieri erhielten

vom Gouvernement eine Unterstützung zur Fortsetzung ihrer Versuche, und in der That gelang es ihnen nach einigen Monaten, Funken an ihrem terrestrischen Inductionsapparat zu zeigen.

Die Commission erstattete auch darüber der Akademie Bericht in der Sitzung vom 23. April 1844, und sprach dabei den Wunsch aus, die genannten Physiker möchten danach streben, diese Stromwirkungen auch ohne Vermittelung von weichem Eisen nur durch die directe Inductionswirkung des Erdmagnetismus hervorzubringen. Leider konnte Linari diese Arbeiten nicht weiter fortsetzen, weil er von einer Augenkrankheit befallen wurde; Palmieri aber brachte in der That diese Wirkungen nur mit Hülfe einer rotirenden Kupferdrahtspirale hervor.

Palmieri beschreibt seinen Apparat in den Archives de l'Electricité T. V, p. 189 (P. A. LXVII, 244.); die Spirale, mit welcher er Funken, Schläge und Wasserzersetzung durch erdmagnetische Induction ohne Vermittelung von Eisen hervorbrachte, hatte 200 Windungen eines 1,5 Millimeter dicken Kupferdrahtes, welche auf einen elliptischen Rahmen gewickelt waren, dessen große Axe $2{,}2^m$, dessen kleine aber $0{,}6^m$ betrug *). Die große Axe dieser Ellipse dient, auf dem magnetischen Meridian senkrecht stehend, als Umdrehungsaxe.

Palmieri wählte die Form der Ellipse, weil, wie er angiebt, die Wirkung einer solchen Spirale größer ist als die einer kreisförmigen von gleichem Umfang.

Eine nähere Beschreibung des Apparates kann ich leider nicht mittheilen, weil mir die Originalabhandlung nicht zugänglich ist, ohne Zweifel aber wird man die besprochenen Erscheinungen der tellurischen Induction sehr gut mit einer solchen Spirale hervorbringen können, wenn man diese Spirale in gehöriger Verbindung mit einem solchen Commutator setzt, wie ihn Stöhrer an seine magnetoelektrischen Maschinen anbringt. Bei solcher Einrichtung würde der Apparat auch zu messenden Versuchen geeignet seyn.

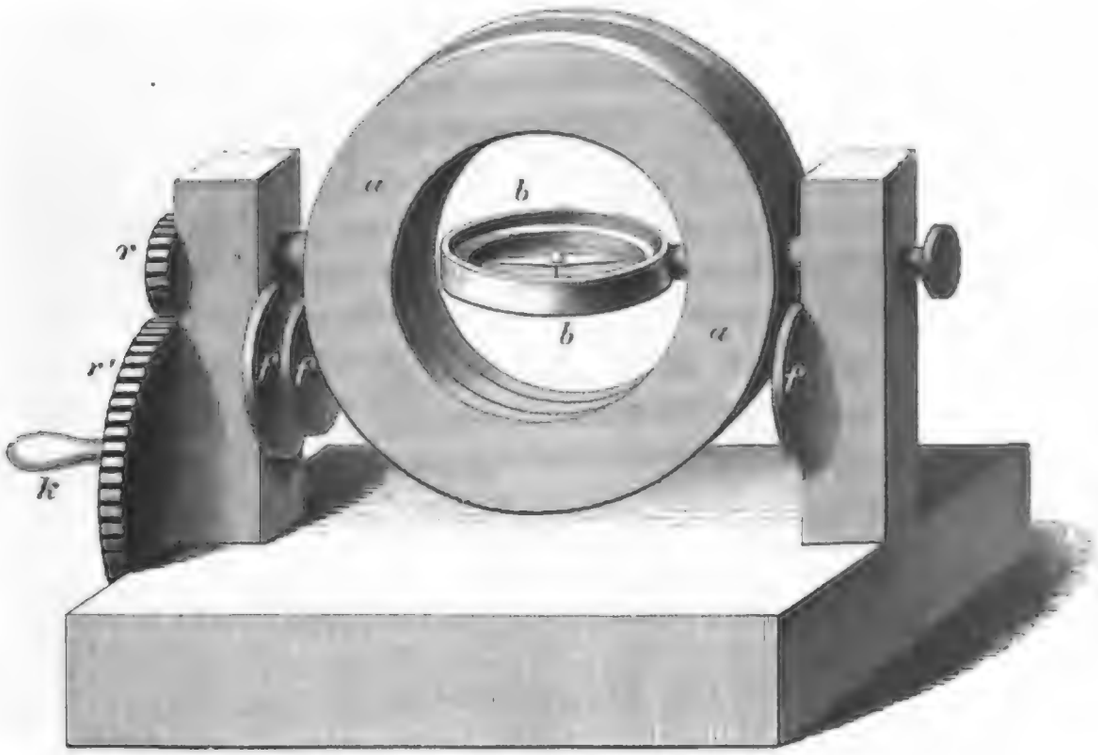
263 **Weber's Inductionsinclinatorium.** Denken wir uns, daß der Ring eines der Tangentenbussole ähnlichen Apparates um seine horizontale mit dem magnetischen Meridian zusammenfallenden Axe rasch umgedreht werden könnte, ohne daß die Magnetnadel, welche sich in der Mitte dieses Ringes befindet, ihren festen Stand verlöre, so müßte die Nadel durch die Ströme, welche der Erdmagnetismus im rotirenden Ringe inducirt, abgelenkt werden.

---

*) An der citirten Stelle von Poggendorff's Annalen sind 1,2 und 0,9 Meter als die Dimensionen der Ellipse angegeben. Die oben angegebenen Zahlen sind dem Berliner Jahresberichte für 1845 entnommen.

Die eben bezeichnete Aufgabe hat nun Weber mit dem, Fig. 255, abgebildeten Inductionsinclinatorium gelöst. *a a* ist ein Ring, welcher 100

Fig. 255.



Millimeter inneren, und 161^{mm} äußeren Durchmesser hat; er besteht aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen, 8 auf der andern Seite sich befinden, während in der Mitte ein Zwischenraum von 12^{mm} bleibt. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einschluß des Zwischenraums betrug 34^{mm}. Die Axe, um welche dieser Ring gedreht wird, liegt auf beiden Seiten auf Frictionsrollen. Die Axe auf der rechten Seite ist hohl, und durch diese Höhlung ragt ein Stäbchen in den Ring hinein, welches die Bussole *b* trägt. Die Rotation des Ringes um seine Axe wird unter Vermittelung der Zahnräder *r* und *r'* durch die Kurbel *k* bewirkt. 7 Umdrehungen der Kurbel entsprechen 40 Umdrehungen des Inductionsringes.

Das Instrument wird so aufgestellt, daß die Umdrehungsaxe des Inductionsringes in den magnetischen Meridian fällt.

Bei jedem Schlage eines Secundenzählers wurde die Kurbel $\frac{1}{2}$- oder 1mal herumgedreht, was für den ersten Fall 166,7, für den zweiten 333,4 Umdrehungen des Inductors in der Minute ausmacht, da der Secundenschläger nicht genau Secunden schlug, sondern 60 Schläge = 61,7 Secunden waren.

Bei 166,7 Umdrehungen des Inductors in einer Minute wurde die Magnetnadel um 5,63°, bei 333,4 Umdrehungen um 10,76° abgelenkt,

die Ablenkung, mithin also auch die Stärke des inducirten Stromes, ist also nahe zu der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional.

Da die Magnetnadel bei ihrer Ruhelage mit der Umdrehungsaxe des Ringes zusammenfällt, so kann sie im rotirenden Ringe keine Ströme induciren; eben so wenig inducirt der horizontale Theil des Erdmagnetismus im rotirenden Ringe einen Strom, die inducirten Ströme rühren also lediglich von der verticalen Composanten des Erdmagnetismus her.

Während der Rotation des Ringes wirken auf die Nadel zwei Kräfte, eine ablenkende, welche von dem inducirten Strom herrührt, welche also dem verticalen Theile T' des Erdmagnetismus proportional ist, welche wir also mit $b\,M\,.\,T'$ bezeichnen können, wenn M die Stärke des Nadelmagnetismus, und b ein constanter Factor ist. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus zieht aber die Nadel mit der Kraft $M\,T$ zurück, wenn T die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bezeichnet, folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels v

$$tang.\ v = \frac{b\,M\,T'}{M\,T} = b\,\frac{T'}{T} = b\,.\,tang.\ i$$

oder

$$tang.\ i = a\ tang.\ v,$$

wenn $a = \frac{1}{b}$, denn der Quotient $\frac{T'}{T}$ ist der Tangente der magnetischen Inclination i gleich. Man könnte also aus der beobachteten Ablenkung v der Nadel unseres Instrumentes die Inclination i berechnen, wenn nur der Factor a bekannt wäre.

Diesen Factor kann man aber umgekehrt für eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit bestimmen, wenn die Inclination des Ortes genau bekannt ist. Nach den oben angeführten Beobachtungen war für 166,7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung im Mittel $5{,}465^0$, also $tang.\ v = 0{,}0962$; für Göttingen, wo die Versuche mit dem Instrument angestellt wurden, ist die Inclination $67^0\ 50'$, also $tang\ i = 2{,}4545$, also ist

$$a = \frac{2{,}4545}{0{,}0962} = 25{,}514$$

Für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit haben wir also

$$tang\ i = 25{,}514\ tang.\ v.$$

Man kann also nun, wenn an irgend einem anderen Orte Versuche mit diesem Instrumente gemacht werden, aus dem beobachteten Ablenkungswinkel v die Inclination des Ortes bestimmen. Gesetzt, man habe mit demselben Instrumente an irgend einem Orte für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigeit $v = 3{,}5^0$ gefunden, so ergäbe sich für die Inclination dieses Ortes

$$tang.\ i = 25{,}514\ .\ 0{,}06116 = 0{,}15605$$
$$i = 8^0\ 52'.$$

Der Factor von *tang. v* ändert übrigens im umgekehrten Verhältniß die Umdrehungsgeſchwindigkeit; für 500 Umdrehungen des Ringes (natürlich an demſelben Inſtrument) waren demnach der Factor von *tang. v* $= 25{,}514 \cdot \frac{166{,}7}{500}$.

So iſt man alſo vermöge dieſer äußerſt ſinnreichen Methode im Stande, aus der beobachteten Ablenkung einer horizontalen Magnetnadel die Inclination des Ortes zu beſtimmen. (P. A. XLIII, 493.)

Neunter Abschnitt.

Diamagnetismus.

---

264 **Drehung der Polarisationsebene durch Elektromagnete und magnetisirende Spirale.** Faraday's wichtige Entdeckung, daß die Polarisationsebene von Strahlen, welche gewisse durchsichtige Körper durchlaufen unter dem Einfluß von Elektromagneten oder Magnetisirungsspiralen gedreht werde, ist bereits in meinem Lehrbuch der Physik (3. Auflage, 2. Bd., S. 266) in ihren Grundzügen auseinander gesetzt worden. Eine Wiederholung dessen, was ich dort über diesen Gegenstand gesagt habe, dürfte wohl unnöthig seyn, und so kann ich mich darauf beschränken, hier nur noch einige Notizen zur Ergänzung des dort Mitgetheilten zu geben.

Faraday bespricht den Einfluß des Magnetismus und des galvanischen Stromes auf die Lage der Polarisationsebne in seiner 19ten Reihe von Experimentalunterſuchungen über Elektricität (Phil. Trans. f. 1846 p. 1. — P. A. LXVIII, 105). Den Unterschied zwischen der Drehung der Polarisationsebne in circular polarisirenden Körpern und der Drehung, wie sie durch den galvanischen Strom hervorgebracht wird, bespricht Faraday in einem Aufsatz, welcher in dem Philosophical Magazine (T. XXIX, 153, 249) unter dem Titel: über die magnetische Affection des Lichtes u. s. w. erschien (P. A. LXX, 283).

Die magnetische Drehung der Polarisationsebene beobachtete Faraday an allen amorphen durchsichtigen Körpern, die er untersuchte, also bei allen Gläsern; ebenso bei denjenigen krystallisirten Körpern, welche dem regulären System angehören, wie Steinsalz, Alaun, Flußspath; dagegen blieb, nach Faraday's Beobachtung, diese Drehung aus bei allen doppelt brechenden Krystallen.

Der Elektromagnet bewirkt die Drehung der Polarisationsebene in allen

Flüssigkeiten, mögen sie nun an und für sich schon ein Drehungsvermögen haben oder nicht.

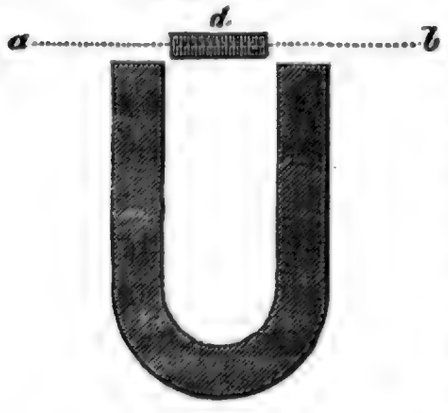
Bei keinem der Gase, welche Faraday untersuchte (atmosphärische Luft, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, schweflige Säure, Chlorwasserstoff, Kohlensäure u. s. w.), fand er eine Drehung der Polarisationsebene durch Elektromagnetismus.

Bei den an und für sich drehenden Flüssigkeiten scheint das natürliche Drehungsvermögen keinen Einfluß auf die Größe der elektromagnetischen Drehung zu haben; die beiden Drehungen afficiren einander nicht, sie sind zu einander zu addiren oder von einander zu subtrahiren, je nach dem sie in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne wirken.

Bei Anwendung von Elektromagneten erreicht das erscheinende Licht erst einige Zeit nach Schließung der Kette seine volle Stärke wohl aus keinem andern Grunde, als weil zur vollen Entwickelung des Magnetismus im Eisenkern einige Zeit nöthig ist.

Wiederholung und Vervollkommnung des Versuchs über die elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene. 265 Als die neue Entdeckung Faraday's nur erst aus kurzen Notizen bekannt geworden war, wurden auf dem Continente Versuche gemacht, um die Erscheinung gleichfalls hervorzubringen. In Deutschland war es Böttger, in Frankreich war es Pouillet, denen es zuerst gelang, und zwar stellte Böttger den Versuch mit einer Spirale an, wie bereits in der dritten Auflage meines Lehrbuches der Physik erwähnt ward, während Pouillet sich starker Elektromagnete bediente. Letzterer fand, daß das Diamagneticum in der Mitte zwischen den beiden Polen, wie *d* in Fig. 256 die größte Drehung zeige, daß sie abnehme, wenn man es in der Verbindungslinie der beiden Pole dem einen, also z. B. nach *a* zuschiebe, daß sie Null wird, wenn die Mitte des Diamagneticums gerade dem Mittelpunkte des einen Poles gegenübersteht, und daß die Drehung in die entgegengesetzte übergeht, wenn man das Diamagneticum noch über den Pol hinausschiebt, so daß es sich nicht auf der Verbindungslinie der beiden Pole selbst, sondern auf ihrer Verlängerung befindet, wobei jedoch stets angenommen ist, daß der Lichtstrahl in der Linie *a b* fortgeht. Es ist dies übereinstimmend mit dem schon von Faraday aufgefundenen Grundgesetz der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene, daß dieselbe stets in der

Fig. 256.



Richtung stattfindet, in welcher die Ampèrischen (positiven) Ströme einen Eisenstab umkreisen würden, wenn er an die Stelle des Diamagneticums gebracht würde.

Da die Drehung der Polarisationsebene unter den erwähnten Umständen, selbst bei den geeigneteren Substanzen, nur eine geringe ist, so mußte man seine Sorgfalt vorzugsweise darauf richten, die Effecte einer kleinen Drehung möglichst sichtbar zu machen, was nur durch Vervollkommnung des optischen Theils des Apparates möglich ist. Pouillet wandte bei seinen Versuchen eine, von Soleil construirte Vorrichtung an (Compt. rend. XXII, 135.), durch welche auch die kleinste Drehung der Polarisationsebene bemerklich gemacht und gemessen werden kann. Für uns besteht der wesentlichste Theil dieses Apparates in einer Doppelplatte (double plaque) von Quarz, welche aus zwei senkrecht zur Axe geschliffenen, neben einander gekitteten, und erst nach dieser Kittung vollständig abgeschliffenen und polirten Quarzplatten besteht, von denen die eine rechts, die andere links drehend ist. Da die beiden Hälften der Platte vollkommen gleich dick sind, so wird sie zwischen den gekreuzten Nichols auch vollkommen gleichförmig gefärbt erscheinen, sobald aber das Ocularnichol nur etwas aus dieser Lage herausgedreht wird, so erscheinen sogleich die beiden Hälften der doppelten Platte ungleich gefärbt.

Diese doppelte Platte ist nun dicht hinter dem Nichol angebracht, durch welches der Lichtstrahl in den Apparat eintritt; dann folgt der auf die elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene zu untersuchende Körper, und endlich das Ocularnichol, welches so gestellt wird, daß die beiden Hälften der doppelten Platte gleich gefärbt erscheinen, wenn der Elektromagnet nicht durch den galvanischen Strom erregt ist. Sobald nun der Strom den Elektromagneten zu umkreisen beginnt, wird die Polarisationsebene in dem zwischen den Magnetpolen befindlichen Körper gedreht, und in Folge dessen werden nun die beiden Hälften der Doppelplatte ungleich gefärbt erscheinen; man muß das Ocularnichol um eine bestimmte Anzahl von Graden drehen, wenn die Gleichheit der Färbung wieder hergestellt werden soll.

Wenn schon durch eine ganz geringe Drehung der Polarisationsebene in dem zwischen den Magnetpolen befindlichen Diamagneticum die Ungleichheit der Färbung der beiden Hälften der doppelten Platte recht deutlich hervortreten soll, so ist es keineswegs gleichgültig, welche Dicke sie hat; die geeignetste ist 3,75^{mm}; bei dieser Dicke der Doppelplatte erscheint dieselbe zwischen parallel gestellten Nichols purpurviolet, ein Farbenton, welcher vorzugsweise durch die äußersten Strahlen des Spectrums gebildet wird, während das Gelb in demselben ganz ausgelöscht wird. Dieser Farbenton, welcher die Uebergangsfarbe (teinte de passage) genannt wird,

hat die Eigenthümlichkeit, sehr rasch in Blau oder Roth überzugehen, so daß schon bei der geringsten Drehung des Ocularnichols oder bei der geringsten Drehung der Polarisationsebene in dem zwischen den Magnetpolen befindlichen Diamagneticum die eine Hälfte der Doppelplatte eine blaue, die andere eine rothe Färbung annimmt.

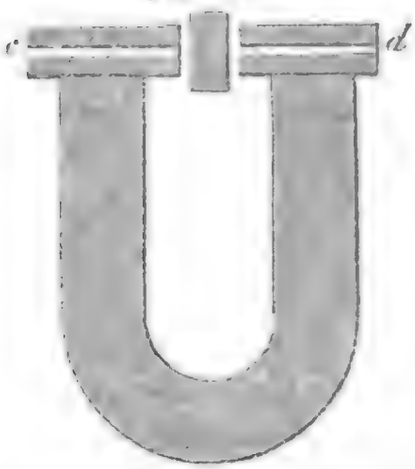
Wenn die Drehung der Polarisationsebene in demjenigen Körper, welcher sich mit der doppelten Platte zwischen den beiden Nichols befindet, sehr groß ist, so ist es bei einfallendem weißen Licht nicht mehr möglich durch Drehung des Ocularnichols die Gleichheit der Farbe in den beiden Hälften der doppelten Platte wieder herzustellen, wie sich aus den Gesetzen der Circularpolarisation leicht nachweisen läßt; in diesem Falle wird die Drehung, welche durch den zu prüfenden Körper hervorgebracht wurde, durch einen aus zwei Quarzkeilen zusammengesetzten Apparat neutralisirt. Auch Pouillet machte bei seinen Versuchen von diesen Quarzkeilen Gebrauch. Da jedoch gerade bei der elektromagnetischen Circularpolarisation meist nur geringe Drehungen vorkommen, so ist dieser Theil des Soleil'schen Apparates für uns nicht wesentlich, weshalb auch hier von seiner näheren Beschreibung abstrahirt werden kann.

Eine andere Methode, kleine Drehungen der Polarisationsebene merklich zu machen, besteht darin, daß man das Ocularnichol durch ein achromatisirtes Kalkspath- oder Quarzprisma ersetzt, welches doppelte Bilder giebt. Ist nun vor dem Nichol, durch welches die Strahlen polarisirt werden, eine Blendung mit kreisförmiger Oeffnung angebracht, so wird man im Allgemeinen zwei Bilder dieser Oeffnung sehen. Der ganze Apparat muß nun gerade so adjustirt werden, daß diese beiden kreisförmigen Bilder einander gerade berühren, und dann dreht man das Ocularprisma so, daß die beiden Bilder genau gleich hell erscheinen, wenn keine Circularpolarisation zwischen dem Nichol und dem Zerlegungsprisma stattfindet; sobald diese aber nun durch Schließung der Kette bewerkstelligt wird, hört die Gleichheit der beiden Bilder auf, und dies ist um so merklicher, weil sie unmittelbar neben einander liegen.

E. Becquerel (Ann. de chim. et de phys. T. XVII, 437.) setzte auf die Pole eines vertical stehenden Uförmigen Elektromagneten parallelepipedische Stücke von weichem Eisen, welche 11 Centimeter breit (gleich dem Durchmesser der Schenkel seines Elektromagneten), 16 Centimeter lang und 5 Centimeter hoch waren. Diese Stücke waren ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hatte die Höhlung 2 Centimeter Durchmesser; gehörig aufgesetzt, bildet die eine dieser Röhren genau die Verlängerung der anderen. Die zu untersuchende Substanz wird zwischen diese Eisenstücke angebracht, welche man, je nach den Umständen, bald mehr einander nähern, bald weiter von einander entfernen kann. Aus

Fig. 257 kann man die Dispoſition des Apparates erſehen. Die Nichol'ſchen Prismen ſind bei *c* und *d* angebracht.

Fig. 257.



Die Mittel, mit welchen Becquerel experimentirte, waren ſehr bedeutend. Der Durchmeſſer des Eiſenkerns ſeines Elektromagneten betrug, wie der, mit welchem Faraday operirte, 11 Centimeter. Auf jeden Schenkel waren 910 Meter eines 2 Millimeter dicken Kupferdrahtes aufgewunden

Feſte Körper, die man dem Verſuch unterwerfen will, werden mit parallelen Flächen verſehen, Flüſſigkeiten aber zwiſchen parallelen Wänden von dünnem Glas an die entſprechende Stelle des Apparates gebracht. Damit dieſe Körper nicht zerdrückt werden, wenn nach Schließung der Kette die beiden Eiſenſtücke ſich anziehen, wird zwiſchen dieſelben noch eine Holzplatte gebracht, welche um etwas dicker iſt, als die zu unterſuchende Platte.

In einem Prisma von ſchwerem Glaſe (kieſel-borſaurem Bleioxyd) von 48 Millimeter Länge, betrug die mit dem beſchriebenen Apparat hervorgebrachte Drehung der Polariſationsebene (für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit) 16^0, und zwar bei Anwendung einer Säule von 40 bis 50 mit ſtarker Säure gefüllten Bunſen'ſchen Bechern

Das Stück ſchweren Glaſes, welches Becquerel zu dieſem Verſuch anwandte, wirkte theilweiſe ſelbſt depolariſirend, wie dies bei ſchnell abgekühlten Gläſern ſtets der Fall iſt, und was oft bei der größten Sorgfalt bei der Bereitung mancher Glasſorten kaum vermieden werden kann. In ſolchen Fällen hat man die Veränderungen zu beobachten, welche im ſchwarzen Kreuze vorgehen.

Nach den Verſuchen von Becquerel befolgt die Größe der Drehung der Polariſationsebene für die verſchiedenfarbigen Strahlen daſſelbe Geſetz, welches Biot für die natürliche Drehung im Quarz, in einer Zuckerlöſung u. ſ. w. nachgewieſen hat, d. h. unter ſonſt gleichen Umſtänden verhält ſich die Drehung der Polariſationsebene umgekehrt, wie die Wellenlänge der verſchiedenfarbigen Strahlen.

Wenn man mit Platten derſelben Subſtanz experimentirt, welche aber verſchiedene Dicke haben, ſo findet man nach Becquerel's Angaben, daß eine Platte von 1 bis 2 Centimeter Dicke, wenn die Eiſenſtücke ihr auf beiden Seiten faſt bis zur Berührung genähert ſind, eine faſt eben ſo große Drehung gab, wie eine 10 Centimeter dicke unter gleichen Umſtänden. Es kommt dies, nach Becquerel's Meinung, daher, daß,

wenn man die Eisenstücke nähert, ihr polare Intensität in dem Maaße wächst, daß durch die Zunahme der magnetischen Intensität die Abnahme in der Dicke der untersuchten Substanz fast compensirt wird. Wenn man aber die Eisenstücke in gleicher Entfernung läßt, und zwischen sie Platten von verschiedener Dicke bringt, so vermindert sich der Effect, wenn die Platten dünner werden. Es ist deshalb nicht vortheilhaft, Platten anzuwenden, welche mehr als einige Centimeter dick sind.

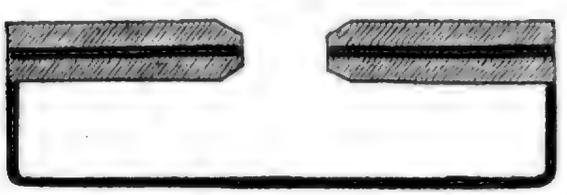
Auch bei diesen Versuchen zeigte sich das schwere Glas am wirksamsten; darauf folgt Flintglas und endlich Krownglas.

Unter den Flüssigkeiten fand Becquerel die Auflösungen der Chlormetalle besonders wirksam. Bei 1 Centimeter Dicke gab eine Lösung von Chlorzink 6°, Chlorcalcium und Chlornatrium 4,5°, reines Wasser 3° Drehung. Alkohol und Aether wirkten schwächer als Wasser.

Faraday hatte an doppeltbrechenden, senkrecht auf die Axe geschliffenen Krystallen keine Drehung der Polarisationsebene finden können. Becquerel beobachtete bei einigen eine schwache Wirkung; so z. B. bei zwei auf einander gelegten Quarzplatten, von denen die eine rechts-, die andere linksdrehend und welche gleich dick waren, so daß sich die Wirkung ihrer eigenthümlichen Drehung aufhob. An einer gelblichen Platte von Beryll zeigte sich eine schwache Wirkung, an einer grünen blieb sie aus. Eben so beobachtete Becquerel bei einer Turmalinplatte einen schwachen Effect, bei einigen anderen dagegen nicht.

Um die Drehung der Polarisationsebene durch Elektromagnetismus zu zeigen, construirte Ruhmkorff einen Apparat, welcher mit Hülfe der Fig. 258 leicht verständlich zu machen ist (Comptes rendus T. XXIII, 417, 538; Ann. d. chem. et d. phys. XVIII, 318.). Zwei eiserne Cylinder, von denen jeder 9 Centimeter lang ist und 3 Centimeter Durchmesser hat, sind mittelst einer eisernen Stange so mit einander verbunden, daß die Axe des einen die Verlängerung von der Axe des anderen bildet, und daß ihre conischen, einander zugewandten Enden 1 Centimeter weit von einander abstehen. Diese eisernen Cylinder sind ihrer Länge nach durchbohrt, und zwar hat das cylindrische Loch 1 Centimeter Durchmesser. Um jeden dieser hohlen Cylinder ist ein 100 Meter langer, 2 Millimeter dicker Kupferdraht gewunden; der Strom wird durch die Spiralen so hindurchgeleitet, daß die beiden einander zugekehrten Pole ungleichnamig sind.

Fig. 258.



Matthiesen aus Altona hat viele Glassorten untersucht und unter

denſelben viele gefunden, welche unter dem Einfluſſe des Elektromagneten noch ſtärker drehen, als Faraday's ſchweres Glas ($SiO_3 . 2BO_3 PBO$). Namentlich zeichnen ſich in dieſer Beziehung die reinen Bleiſilicate SiO_3 6PbO und SiO_3 . 4PbO, welche doppelt ſo ſtark wirken, als das Borſilicat von Blei. Leider laufen dieſe Glasſorten, wie auch das Faraday'ſche ſchwere Glas, an der Luft an. (Compt. rend. T. XXIV, p. 969; T. XXV, p. 20. Pogg. Ann. LXXIII, 65).

Die ausführlichſte Unterſuchung über magnetiſche Circularpolariſation hat Bertin angeſtellt (Ann. de chim. et de phys. Ser. III, T. XVIII, p. 5. Pogg. Ann. LXXV, 420). Alle in ſeiner Abhandlung gegebenen Zahlen ſtellen die volle Drehung dar, welche die Polariſationsebene durch die Richtungsänderung des Stromes erleidet. — Nehmen wir an, man habe das Ocularnichol auf Null geſtellt und ſchließe nun die Kette, ſo wird die Polariſationsebene nach einer Seite, etwa nach der rechten gedreht, und man muß das Ocularnichol um n Grad rechts drehen, um das Geſichtsfeld wieder auf ein Minimum von Lichtſtärke zu bringen; kehrt man aber jetzt den Strom ganz um, ſo muß man den Zerleger nun um $2n$ Grad nach der Linken drehen, um das Geſichtsfeld wieder dunkel zu machen. Dieſe der Stromumkehrung entſprechende Drehung $2n$ iſt es, welche Bertin ſtets beobachtete.

Wie die Erſcheinungen der gewöhnlichen Circularpolariſation, ſo würden auch die Erſcheinungen der elektromagnetiſchen Circularpolariſation weit einfacher werden, wenn man ſtatt des weißen Lichtes, homogenes anwendete, wenn man etwa durch rothe Gläſer beobachtete.

Bertin wandte bei ſeinen Verſuchen theils die Becquerel'ſche, theils die Ruhmkorff'ſche Vorrichtung an. Wie ſehr die Wirkung mittelſt der durchbohrten Aufſätze Becquerel's im Vergleich gegen die urſprüngliche Beobachtungsmethode Faraday's erhöht wird, geht aus Folgendem hervor. Bei Anwendung deſſelben Elektromagneten werden folgende Drehungen beobachtet.

Subſtanz	Dicke	Drehung mit Aufſätzen		Drehung ohne Aufſätze	
Sehr dichtes Flintglas	55,1 mm	21°	0′	4°	30′
Faraday's Glas	48,3	25	6	6	30
Deſtillirtes Waſſer	130,0	5	30	3	0

Begreiflicher Weiſe ändert ſich der Effect bei Anwendung der gleichen Anzahl galvaniſcher Elemente, je nachdem man ſie anders combinirt. Bertin hat darüber beſondere Verſuche angeſtellt. Mit einem Ruhmkorff'ſchen Apparate brachte er in einem 39 Millimeter langen Stück Faraday'ſchen Glaſes folgende Drehungen hervor:

Anzahl der Elemente	Mit einer Säule von	Beobachtete Drehung
80	80 . . . 1 fachen Bechern	23° 30′
80	40 2 » »	25 20
80	20 4 » »	26 30
40	40 1 fache Becher	20 30
40	20 2 » »	22 30
40	10 4 » »	18 30
20	20 1 fache Becher	17 30
20	5 4 » »	13 0
10	10 1 fache Becher	14 30
1	1 1 fache Becher	3

Um bei gegebener Becherzahl die zweckmäßigste Combination derselben zu ermitteln, hätte man übrigens nicht nöthig, erst eine solche Versuchsreihe anzustellen. Hat man einmal den Widerstand des Spiraldrahtes ermittelt, welcher die Eisenkerne des Elektromagneten umgiebt, so kann man leicht berechnen, wie man eine gegebene Anzahl von Bechern verbinden muß, um die größte Wirkung zu erhalten.

Bertin hat in einer Vorlesung die Erscheinungen der magnetischen Circularpolarisation mittelst einer Soleil'schen Lampe auch objectiv dargestellt.

Die Richtung der Drehung der Polarisationsebene fand er in allen möglichen Combinationen stets dem schon von Faraday ausgesprochenen Gesetze entsprechend.

Bertin vergleicht nun dies Gesetz mit der Theorie, welche Fresnel von der drehenden Polarisation gegeben hat: »Nachdem er (Fresnel) »bewiesen hat, daß ein geradlinig polarisirter Strahl zerlegt werden kann »in zwei circular polarisirte von entgegengesetzter Drehung und umge»kehrt, brauchte er nur anzunehmen, daß eine auf ihrer Axe winkelrechte »Quarzplatte die Eigenschaft habe, circularpolarisirende Strahlen von ent»gegengesetzter Drehung mit ungleicher Geschwindigkeit durchzulassen, und »alle Erscheinungen beim Quarz ergaben sich als nothwendige Folgen. »Ebenso dürfen wir nur annehmen, die Gegenwart des Elektromagneten »oder, was dasselbe ist, eines kreisrunden Stromes ertheile den durchsichtigen »Körpern die Eigenschaft, denjenigen circularpolarisirten Strahlen, deren »Lichttheilchen sich in gleichem Sinne wie der Strom drehen, einen leich»teren Durchgang zu verstatten, und das allgemeine Gesetz der elektromagne»tischen Circularpolarisationen stellt sich als nothwendige Folge dieser ein»fachen Hypothese dar.«

Auf eine sehr zweckmäßige Weise benutzte Bertin die Eigenschaft der magnetischen Circularpolarisation, daß ein Strahl, welcher im Diamagneticum hin und her geht, doppelt so stark gedreht erscheint, als wenn er nur

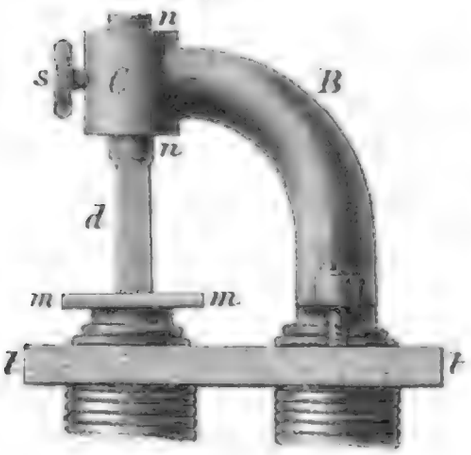
einmal die Dicke desselben durchlaufen hätte, indem er einen Nörremberg'schen Polarisationsapparat geradezu auf den einen Pol des (verticalstehenden) Elektromagneten setzte. Der belegte horizontale Spiegel *c* dieses Polarisationsapparates (siehe mein Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Bd. S. 270.) wurde dort auf die Fläche des Elektromagneten gebracht und auf diesen ein Stück Faraday'schen Glases. So lange kein Strom durch den Apparat geht, sieht man das Gesichtsfeld dunkel, wenn die Polarisationsebenen des untern Polarisationsspiegels und des Zerlegers (besser ein Nichol'sches Prisma als ein Spiegel) gekreuzt sind; so wie aber der Strom hindurchgeht, erscheint die Platte hell, und man muß den Zerleger nach der rechten Seite drehen, wenn der Polarisationsapparat auf einen Südpol steht, nach der linken im entgegengesetzten Fall, um wieder ein Minimum von Lichtstärke zu erhalten. Für eine 18^{mm} dicke Platte Faraday'schen Glases betrug diese Drehung 10°, für eine 48^{mm} dicke betrug sie 21°.

Die große Intensität der auf diese Weise über einem Pol eines Elektromagneten beobachteten Wirkung macht die erwähnte Benutzung des Nörremberg'schen Apparates zur Beobachtung der elektromagnetischen Circularpolarisation besonders empfehlenswerth, namentlich da sie auch unter allen Beobachtungsmethoden die bequemste und einfachste ist. Wenn man nicht schon einen Nörremberg'schen Apparat besitzt, welcher sich bequem auf den Elektromagneten aufsetzen läßt, so kann man leicht einen kleinen gerade auf einen Pol des Elektromagneten passenden construiren.

Da jedoch der Nullpunkt der Lichtstärke bei der unvollständigen Polarisation, welche der untere Spiegel bewerkstelligt, nicht mit großer Schärfe zu bestimmen ist, so bietet in diesem Falle die Anwendung der schon besprochenen doppelten Platte große Vortheile. In der That hat sie Bertin auch bei diesen Versuchen angewandt.

Mit einem solchen Elektromagneten, wie er Fig. 497 des 2ten Bandes meines Lehrbuchs der Physik (3ten Auflage) abgebildet ist, dessen Eisen 35^{mm} Durchmesser hatte, gelang es mir, nach der Bertin'schen Methode, nur höchst unbedeutende Wirkungen zu erhalten. Um sie zu verstärken ging ich darauf aus, auch bei Anwendung des Nörremberg'schen Polarisationsapparates das Diamagneticum zwischen zwei Magnetpole zu bringen. Die Art und Weise wie ich dies bewerkstelligte, ist Fig. 259 dargestellt. Auf den einen Pol des Elektromagneten wird ein ei-

Fig 259.



ferner Bügel *B* aufgesetzt und durch Holzschrauben festgehalten, welche in das Brettchen *t* eingelassen sind. Gerade über der Mitte des anderen Poles endigt der Bügel *B* mit einem hohlen Eisencylinder *C*, in welchem ein eisernes Rohr *nn* von wenigstens 2‴ innerer Oeffnung und nahe 2‴ Wanddicke auf- und abgeschoben, und mittelst der Schraube *s* an jeder beliebigen Stelle festgestellt werden kann. *nn* wird so gerichtet, daß es genau auf der oberen Fläche des Diamagneticums *d* aufsitzt, welches auf dem belegten Spiegel *mm* des Nörremberg'schen Apparates steht. Mittelst dieser Vorrichtung habe ich bei Anwendung von 20 Bunsen'schen Elementen (5 vierfache) in einem 5 Centimeter hohen Säulchen von gewöhnlichem Flintglas eine Drehung der Polarisationsebene von 9° bei Umkehrung der Polarität erhalten. Die Dimensionen dieser Vorrichtung hängen natürlich von dem Apparat ab, an welchem sie angebracht werden soll.

Faraday hielt es für wahrscheinlich, daß in wässerigen Lösungen das Wasser und nicht der gelöste Stoff die drehende Substanz sey; Bertin hat dargethan, daß dies nicht der Fall ist. Zunächst fand er, daß gerade die wasserfreien Flüssigkeiten die stärkste magnetische Circularpolarisation zeigen, dann aber auch, daß es unter den gelösten Stoffen einige giebt, welche das Drehungsvermögen des Wassers vermehren, andere, welche es vermindern.

Bei einer Dicke von 1 Centimeter fand er die Drehung in einigen wasserfreien Flüssigkeiten folgendermaßen:

Zinnchlorid	7°	30′
Schwefelkohlenstoff . .	7°	0
Phosphorchlorid . . .	5°	

während eine gleich dicke Wasserschichte unter denselben Umständen die Polarisationsebene nur um 2° 20′ dreht.

Den Einfluß der Verdünnung zeigen folgende Beobachtungen. Bei einer Dicke von 13 Millimeter und unter stets gleichen Umständen drehte

eine concentrirte Lösung von Chlornatrium .	6°	20′
dieselbe Menge Salz in der 2fachen Wassermenge	4	55
» » » » 4 » »	4	40
» » » » 8 » »	4°	0
reines Wasser	3°	40

Mit einigen anderen concentrirten Lösungen erhielt er folgende Resultate:

Drehung einer concentrirten Lösung von			Drehung einer gleich dicken Wasserschichte unter denselben Umständen	
Chlormagnesium	6°	5′	3°	30′
Chlorzink	10	0	4	30
Chlorstrontium	5	30	4	15
Salpetersaures Ammoniak	3	45	4	55
Schwefelsaures Eisen	4	20	6°	0

Das Drehungsvermögen des Schwefelkohlenstoffs ist dreimal größer, als das des Wassers, und halb so groß, als das des Faraday'schen Glases; diese Flüssigkeit ist deshalb sehr geeignet, bei diesen Versuchen die seltenen Gläser zu ersetzen.

Das Drehungsvermögen des Alkohols fand Bertin, wie seine Vorgänger, kleiner als das des Wassers.

266 **Gesetz der Dicke und des Abstandes.** Bei einer und derselben Substanz ändert sich die Stärke der Drehung mit der Dicke; allein das Gesetz dieser Drehung ist von verschiedenen Experimentatoren, welche sich mit dieser Aufgabe beschäftigt haben, verschieden angegeben worden. Einige sagen: die Drehung sey proportional der Dicke, nach Anderen ist dies nicht der Fall. Bertin hat das Verhältniß der Dicke zur Drehung einer genauen Prüfung unterworfen.

Betrachtet man nur die Wirkung eines Pols, so ist klar, daß sie von Schichte zu Schichte abnehmen muß, bis zu einer gewissen Entfernung, in welcher der Pol keine drehende Wirkung mehr ausüben kann. Da sich die Drehungen in den einzelnen Schichten addiren, so ist klar, daß, wenn man wachsende Dicken desselben Körpers dem Einfluß eines einzigen Pols unterwirft, die Drehungen mit der Dicke bis zu einer gewissen Gränze zunehmen, von welcher an eine Vermehrung der Dicke keinen merklichen Einfluß mehr ausübt.

Bringt man die Substanz zwischen zwei Pole, so ist klar, daß sich die Wirkung verdoppeln, daß aber das Gesetz derselben bleiben muß, wobei nur noch in Betracht zu ziehen ist, daß, wenn man die Pole stets mit dem Diamagneticum in Berührung erhält, man bei wachsender Dicke desselben die Pole selbst weiter aus einander rücken muß, wobei ihre Stärke nothwendig abnimmt.

Zwischen den verschiebbaren Polen eines Becquerel'schen Apparates beobachtete unter andern Bertin folgende zusammengehörige Dicken und Drehungen an Wasser:

Dicke der Schichte	Drehung
1 Centimeter	2° 0′
2 »	3 30
3 »	4 25
13 »	5 0
15 »	5 0

wodurch die oben angedeutete Ansicht gerechtfertigt erscheint.

Um zu einem bestimmten Gesetze zu kommen, untersuchte Bertin zunächst die auf ein und dasselbe Stück eines Diamagneticums von einer Rolle des Ruhmkorff'schen Apparates (nach Entfernung der andern) in verschiedenen Entfernungen hervorgebrachte Wirkung. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dreier in dieser Beziehung angestellten Beobachtungsreihen:

1) Verſuche mit Faraday'ſchem Flintglaſe 38,9mm dick

Abſtand d. Glaſes v. dem Pol.	Beobachtete Drehung.	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung.	Unterſchied zwiſ. d. berechneten u. beob. Drehung.
0mm	11° 12′	0,9821	11° 12′	0
1	11 0	0,9470	10 56	− 4′
2	10 25	0,9712	10 44	+ 19
3	10 7	0,9719	9 57	− 10
4	9 50	0,9661	9 51	+ 1
5	9 30	0,9824	9 35	+ 5
6	9 20	0,9417	9 16	− 4
7	8 47	0,9772	9 4	− 17
8	8 35	0,9709	8 34	− 1
9	8 20	0,9508	8 22	+ 2
10	7 55		8 6	+ 11

2) Verſuche mit Faraday'ſchem Flintglaſe 38,9mm dick.

0	12° 30′	0,8934	12° 30′	0′
5	11 10	0,8582	11 4	− 6
10	9 35	0,8870	9 54	+ 19
15	8 30	0,8716	8 30	0
20	7 25	0,8876	7 31	+ 6
25	6 35	0,8735	6 33	− 2
30	5 45	0,8840	5 50	+ 5
35	5 5	0,9016	5 5	0
4	4 35	0,8728	4 31	− 4
45	4 0	0,895	4 4	+ 4
50	3 35		3 32	− 3

3) Verſuche mit Matthieſen'ſchem Flintglaſe 44mm dick.

0	7° 40′	0,8261	7° 40′	0
10	6 20	0,7895	6 1	− 19
20	5 0	0,7333	4 56	− 4
30	3 40	0,7727	3 53	+ 14
40	2 50		2 53	+ 3

Man übersieht leicht, daß, wenn man die Entfernungen in arithmetischer Reihe wachsen läßt, daß alsdann die entsprechenden Drehungen in geometrischer Reihe abnehmen, denn wenn man die nächstfolgende Drehung durch die vorhergehende dividirt, so erhält man sehr nahe denselben Quotienten, wie man aus der dritten Columne obiger Tabellen ersieht. Bezeichnen wir durch A die im Contact mit dem Pole vom Flintglase erzeugte Drehung, und mit Ar die von demselben in 1 Millimeter Abstand erzeugte, so ist die Wirkung der (Ruhmkorff'schen) Rolle in x Millimeter Abstand

$$y = Ar^x$$

Nach dieser Formel sind die Werthe in der vierten Columne der obigen Tabelle berechnet, in dem man $r = 0{,}97587$ setzte, was nahe zu dem Mittel aus den Quotienten der ersten Versuchsreihe gleich ist, während $r^5 = 0{,}88504$ und $r^{10} = 0{,}78233$ nahezu die Mittel aus den entsprechenden Quotienten der zweiten und dritten Versuchsreihe sind.

Man sieht, daß die Differenzen zwischen den beobachteten und den berechneten Drehungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen, daß also die Versuche das durch die Gleichung $y = Ar^x$ ausgedrückte Gesetz rechtfertigen, und zwar für alle Dicken.

Diese Formel wird zu einem Gesetze führen, welches die Drehung mit der Dicke verknüpft, vorausgesetzt, daß jede einzelne Schichte eines Körpers dieselbe Einwirkung erleidet, wie wenn sie allein da wäre.

Um sich davon zu überzeugen, daß dies wirklich der Fall ist, brachte Bertin zwei Flintgläser in Contact zwischen die beiden Pole in bestimmten Lagen und beobachtete die Drehungen, die von den beiden Gläsern zusammen und einzeln in der Anfangs angenommenen Lage ausgeübt wurden. Es ergab sich, daß die erstere Drehung stets die Summe der beiden andern ist. Folgendes sind einige der von Bertin in dieser Beziehung gemachten Beobachtungen:

Flintgläser.	Drehungen bewirkt von den Flintgläsern		Unterschied zwischen der dritten Zahl und der Summe der beiden ersten.
	einzeln.	zusammen.	
Faraday'sches 18,3mm dick	8° 10′	25 10	— 5′
» 38,9 »	17 5		
» 38,9 »	12 15	19 32	+ 12′
Gemeines 43,5 »	7 5		

Die Wirkung eines Pols auf eine Schichte eines Körpers hängt also nach einem bekannten Gesetz allein von der Entfernung dieser Schichte vom

Pole ab. (Bei dem Magnetisiren eines Eisenstabes, der in die Nähe eines Magnetpols gehalten wird, findet bekanntlich ein anderes Verhalten statt.)

Denken wir uns einen diamagnetischen Körper, welcher e Millimeter lang ist und mit der einen Endfläche einen Magnetpol berührt, in Schichten von 1^{mm} Dicke zerlegt, bezeichnen wir ferner die durch den Pol in der ersten Schichte hervorgebrachte Drehung mit c, so ist die in der zweiten cr, die in der dritten cr^2 u. s. w., die in der letzten Schichte endlich cr^{n-1}; die im ganzen Körper hervorgebrachte Drehung ist also

$$c + cr + cr^2 + cr^3 + \ldots cr^{n-1} = c\,(1 + r + r^2 + \ldots r^{n-1})$$

$$= c\,\frac{1 - r^e}{1 - r}.$$

Derselbe Körper erleidet x^{mm} weit vom Pole entfernt, die Drehung

$$y = c\,\frac{1 - r^e}{1 - r}\,r^x$$

Wenn der Körper gleichzeitig der Einwirkung der beiden Pole ausgesetzt ist, so wird die dadurch bewirkte Drehung durch die Formel

$$z = c\left(\frac{1 - r^e}{1 - r}\right)(r^x + r^{d - e - x})$$

ausgedrückt, wenn d die Entfernung der beiden Pole bezeichnet. Bertin fand die aus seiner Formel gezogenen Consequenzen durch zahlreiche Versuche bestätigt.

In dieser Formel scheint r weder von der Intensität des Magnetismus, noch von der Natur des Körpers abzuhängen; dagegen hängt c von beiden ab.

Wie c mit der Intensität des Magnetismus variirt, ist noch zu untersuchen; Bertin's Versuche zeigen aber, welches auch sonst das Gesetz seyn mag, daß der Coefficient c bei einer Veränderung der magnetischen Intensität für alle Substanzen in gleichem Verhältniß sich ändert. Mit einem Becquerel'schen Elektromagneten wurden z. B. bei verschiedener Stromstärke folgende Drehungen beobachtet:

Faraday'sches Flintglas $18{,}3^{mm}$ dick.	Schwefelkohlenstoff 10^{mm} dick.	Verhältniß der Drehungen.
7° 42′	3° 18′	0,43
13 48	6 0	0,43
19 0	8 18	0,43

Wie sich also auch die Intensität der Pole ändern mag, so bleibt das Verhältniß zwischen den Drehungen des Glases und des Schwefelkohlenstoffs doch stets dasselbe.

Bertin schlägt vor, die Größe *c* Coefficient der magnetischen Polarisation zu nennen. Setzt man diesen Coefficienten für das Faraday'sche Flintglas gleich 1, so ist er für

Gemeines Flintglas	0,53
Zinnchlorid	0,77
Schwefelkohlenstoff	0,74
Gelöstes Chlorzink	0,55
Gelöstes Chlorcalcium	0,45
Wasser	0,25
Alkohol 36° B	0,18
Aether	0,15

267 **Drehung der Polarisationsebene im Innern der Magnetisirungsspirale.** Alle die bisher besprochenen Versuche Bertin's begreifen nur die Wirkung der Elektromagnete auf äußere Körper. Als er das Flintglas in die Höhlung des einen Ruhmkorff'schen Elektromagneten hineinschob, konnte er keine Drehung der Polarisationsebene beobachten. Ein unter diesen Verhältnissen in die Höhlung hineingeschobener Eisenstab würde wohl auch nicht magnetisirt worden seyn. — Erst als der zweite Elektromagnet dem ersteren genähert wurde, konnte eine schwache Wirkung beobachtet werden. —

Die Drehung der Polorisationsebene im Innern einer Magnetisirungsspirale ohne Eisen ist nicht weiter der Gegenstand genauerer Untersuchungen und Messungen gewesen. Den vorhandenen Notizen zufolge scheint die Drehung unter diesen Umständen verhältnißmäßig weit schwächer zu seyn, als die durch Magnetpole bewirkte, wie ich denn auch die Drehung in Wasser, welches in einer messingenen Röhre von 33 Centimeter Länge eingeschlossen, in die S. 495 beschriebenen combinirten Spiralen eingeschoben, bei Anwendung eines sehr starken Stromes nur ungefähr eine Drehung von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Graden zeigte.

Ist das Diamagneticum in eisernen Röhren eingeschlossen, welche in der Magnetisirungsspirale stecken, so erscheint die Drehung der Polarisationsebene durch den Magnetismus des Eisens modificirt, doch ist das Gesetz dieser Modification noch ganz unbekannt. Faraday experimentirte mit drei eisernen Röhren, welche 27 Zoll lang waren und von denen jede $\frac{1}{8}$ Zoll Wanddicke hatte; sie konnten leicht in einander und dann in eine Magnetisirungsspirale von 26,5 Zoll Länge eingeschoben werden. Die engste wurde mit Glasenden versehen und mit Wasser gefüllt; allein

in die Spirale gebracht, wurde ein gewisses Drehvermögen auf den polarisirten Strahl beobachtet. — Nun wurde die zweite Röhre darüber geschoben; jetzt hatte das Wasser ein stärkeres Drehvermögen, als aber endlich noch die dritte Eisenröhre aufgeschoben wurde, war das Drehungsvermögen wieder schwächer.

In diese Kategorie gehören auch die zu Anfang dieses Paragraphen angeführten Beobachtungen Bertin's. Der gesetzliche Zusammenhang dieser Erscheinungen ist, wie bereits bemerkt, erst noch zu ermitteln.

Schließlich muß ich noch bemerken, daß es sehr wünschenswerth wäre, daß die Physiker, welche sich mit diesen oder ähnlichen Untersuchungen beschäftigen, es doch nicht versäumen wollten, die Tangentenbussole in den Schließungskreis einzuschalten, damit die Stromstärke, mit der sie experimentirten, genau bestimmt werden kann.

Magnetischer Zustand aller Substanzen. In der dritten Auflage 268
meines Lehrbuchs der Physik (2ter Theil Seite 271, Näheres über die Anstellung des Versuchs im Anhange, Seite 687) habe ich schon die Grundzüge der von Faraday gemachten Entdeckung mitgetheilt, daß die Pole eines kräftigen Magneten auf alle Körper wirken, theils anziehend, theils abstoßend; daß Körper, bei denen eine Dimension vorherrschend ist, wenn sie sich in horizontaler Ebene frei zwischen zwei Magnetpolen umdrehen können, sich entweder axial oder äquatorial stellen.

Faraday behandelt diese wichtige Entdeckung in der 20sten Reihe seiner Experimentaluntersuchungen (Phil. Trans. f. 1846, p. 21; Pogg. Ann. LXIX, 289). An das in meinem Lehrbuche bereits Mitgetheilte anschließend, habe ich aus der Faraday'schen Abhandlung noch Folgendes nachzutragen.

Unter den nicht metallischen Körpern fand Faraday mit seiner neuen Prüfungsmethode folgende Körper schwach magnetisch: Papier, Siegellack, Tusch, Berliner Porzellan, Seidenwurmdarm, Asbest, Flußspath, Mennige, Zinnober, Bleisuperoxyd, Zinkvitriol, Turmalin, Graphit, Schellack und Holzkohle. Diese Körper waren bisweilen ihrer ganzen Masse nach magnetisch, bisweilen nur ein Theil derselben.

Es ist gleichgültig, ob der zu prüfende Körper aus einem Stücke oder ob er aus dem feinsten Pulver besteht. Eine dünne Hülse, mit Wismuthpulver gefüllt, stellt sich eben so äquatorial wie ein Wismuthstäbchen.

Um mit Flüssigkeiten zu experimentiren, füllte sie Faraday in Röhren von ganz dünnem Flintglas. An und für sich stellt sich Flintglas äquatorial, wenn aber die Wände der Röhre sehr dünn sind, so ist der Effect sehr gering, wenn man mit der Röhre allein experimentirt, während die Wirkung der gefüllten Röhre von der Art ist, daß kein Zweifel seyn

kann, daß sie von der Flüssigkeit herrührt. Die Röhren dürfen natürlich nicht mit Wachs, Kork oder irgend einem anderen Körper verschlossen werden, weil diese Körper für sich schon wirken würden. Faraday gab seinen Röhren die Gestalt Fig. 260, die kleine Oeffnung auf der einen Seite, durch welche die Flüssigkeit eingefüllt wird, bleibt offen.

Fig 260.

Das schwere Glas stellt sich auch noch zwischen den Polen eines guten Stahlmagneten äquatorial, wenn auch mit ungleich geringerer Kraft als bei einem Elektromagneten. Schraubendrähte ohne Eisenkerne brachten eine solche Wirkung nicht hervor.

Folgendes ist die Liste der nicht metallischen Substanzen, welche Faraday mehr oder weniger stark diamagnetisch fand: Schweres Glas, borsaures Bleioxyd, Flintglas, Krownglas, Bergkrystall, schwefelsaurer Kalk, schwefelsaurer Baryt, Glaubersalz, schwefelsaures Kali, schwefelsaure Magnesia, Alaun, Salmiak, Chlorblei, Chlornatrium, Salpeter, salpetersaures Bleioxyd, Soda, Kalkspath, Bleizucker, Brechweinstein, Seignettesalz, Weinsteinsäure, Citronensäure, Wasser, Alkohol, Aether, Salpetersäure, Schwefelsäure, Salzsäure, Auflösungen verschiedener Salze der Alkalien und Erden, Glas, Bleiglätte, arsenige Säure, Jod, Phosphor, Schwefel, Harz, Wallrath, Olivenöl, Terpentinöl, Kautschuck, Zucker, Stärke, Gummi, Holz, Elfenbein, getrocknetes Hammelfleisch, frisches Rindfleisch, Blut, Leder, Aepfel, Brod u. s. w.

Faraday bemerkt hierzu: »Es ist sonderbar, eine Liste von Körpern »wie diese zu sehen, welche sämmtlich die merkwürdige Eigenschaft zeigen, »und seltsam macht es sich, daß Holz, Fleisch oder ein Apfel dem Magnet »gehorcht oder von ihm abgestoßen wird. Wenn ein Mensch nach Du»fay'scher Weise mit hinlänglicher Empfindlichkeit aufgehängt und in »das magnetische Feld gebracht werden könnte, würde er sich äquatorial »richten; denn alle Substanzen, aus denen er gebildet ist, mit Einschluß »des Blutes, besitzen diese Eigenschaft.«

Da sich bis dahin kein Zusammenhang zwischen dem Verhalten der Körper gegen Magnetpole mit Leitung oder Nichtleitung, Durchsichtigkeit oder Undurchsichtigkeit, Starrheit oder Flüssigkeit, krystallinischem oder amorphem Zustand, Ganzheit oder Zerstückelung gezeigt hatte, so war es, sagt Faraday, von hohem Interesse, zu erfahren, ob die Metalle sich diesem allgemeinen Verhalten anschließen oder von ihnen absondern würden.

Das zu prüfende Metall wurde in Form eines Stäbchens zwischen die Pole des Elektromagneten gebracht. Als magnetisch betrachtet Fa-

raday diejenigen, die sich axial stellen, während diejenigen, welche die äquatoriale Lage annehmen, als diamagnetisch bezeichnet sind. Folgendes sind die Metalle, welche Faraday diamagnetisch fand, und zwar nach der Stärke des Diamagnetismus geordnet: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Kadmium, Quecksilber, Silber, Kupfer.

Außer den bekannten magnetischen Metallen; Eisen, Nickel und Kobalt nehmen noch Platin, Palladium und Titan die axiale Stellung an.

Wenn der cylindrische Elektromagnet vertical gestellt ist, so bildet jeder Pol eine horizontale kreisrunde Fläche. Hängt man ein Wismuthkügelchen gerade über den Mittelpunkt eines Poles, so zeigt sich keinerlei Abstoßung; führt man die Kugel gegen den Rand des Poles hin, so wird sie nach Innen abgelenkt; genau über dem Rande des Pols zeigt sich wiederum keine Bewegung, über denselben hinaus geführt, macht sich aber eine nach Außen gerichtete Abstoßung geltend. Es erklärt sich dies dadurch, daß gerade von der Kante des Poles die kräftigste magnetische Wirkung ausgeübt wird.

Bestreut man ein auf den horizontalen Pol gelegtes Stück Papier mit fein gepulvertem Wismuth, so zieht es sich, wenn der Elektromagnet in Thätigkeit ist, von der Kante des Eisenkernes zurück, eine kreisrunde Linie bloßlegend; ist aber der Elektromagnet nicht in Thätigkeit, so kann man das Papier betupfen, ohne daß sich etwas der Art zeigt.

Das Wismuth wird gut gerichtet und abgestoßen, wenn es in Wasser, Alkohol, Aether u. s. w. eingetaucht, auch wenn es in Gefäße von Steingut, Glas, Kupfer, Blei u. s. w. eingeschlossen oder durch Schirme von Wismuth, Kupfer oder Blei geschützt ist. Selbst innerhalb eines eisernen Gefäßes aufgehängt, wird es gut und frei von dem Magnetpol abgestoßen.

Zuerst wurde die Abstoßung des Wismuths durch Magnetpole von Brugmans im Jahre 1778 beobachtet; Le Baillif fand sie 1827 und hielt sie für neu.

Faraday erwähnt diese älteren Beobachtungen, die aber ihrer Zeit als isolirt stehende Erscheinungen wenig Beachtung fanden; erst durch seine Forschungen ist dies Verhalten gegen die Magnetpole als eine Eigenschaft aller nicht magnetischen Körper erkannt und dadurch ein neues Feld für die Elektricitätslehre gewonnen worden.

Nachdem Faraday die normalen Erscheinungen beschrieben hat, welche an Stäbchen diamagnetischer Körper beobachtet worden, geht er zur Betrachtung einiger anomalen Erscheinungen über, die er vorzugsweise an Kupferstäbchen beobachtete. Weil uns bis jetzt noch der Schlüssel zur vollen Erkenntniß dieser Eigenthümlichkeiten fehlt, so dürfte es auch

am zweckmäßigsten seyn, nur das Wesentlichste der Erscheinung, und zwar mit Faraday's eigenen Worten, anzuführen.

»Hängt ein Kupferstab zwischen den Polen und entwickelt man deren »Kraft in dem Moment, da er eine schiefe Lage zwischen der axialen und »äquatorialen Linie besitzt, so geht er auf die axiale Lage zu, wie wenn er »magnetisch wäre, er setzt jedoch seine Bewegung nicht bis zur Ankunft in »jene Lage fort, sondern hält rasch ein, und kommt, ohne eine Schwin»gung zu machen, alsbald zu einer todten Ruhe; dies geschieht selbst, wenn »der Stab vermöge der Torsion oder einer andern Ursache sich von hier »mit einer Kraft bewegte, die ihn mehrmals im Kreise herum gedreht »hätte. — —

»Die Lage, welche der Stab angenommen hat, behauptet er mit einem »bedeutenden Grad von Hartnäckigkeit, so lange die Magnetkraft unter»halten wird. Wird er aus ihr abgelenkt, so kehrt er nicht in dieselbe »zurück, sondern nimmt die neue Stellung in derselben Weise ein und be»harrt in derselben eben so fest. Ein Stoß, welcher den Stab, wenn kein »Magnetismus vorhanden wäre, mehrmals im Kreise herumdrehen würde, »bewegt ihn nur um 20° bis 30°. ——— Die vom Stab angenommene »Lage kann eine jegliche seyn. — — —

»Wenn der elektrische Strom unterbrochen wird, nachdem der Magne»tismus zwei bis drei Secunden unterhalten worden war, so erfolgt au»genblicklich eine starke Wirkung auf den Stab, welche wie ein Rückstoß »aussieht (denn der Stab geht zurück in der Bewegung, welche er beim »Schließen der Kette auf einen Moment annahm), allein mit solcher Ge»walt, daß wenn er vielleicht 15° bis 20° vorgerückt ist, der Rücksprung »manchmal zwei bis drei ganze Umdrehungen beträgt. —

»Dieselbe Trägheit findet sich auch bei einem Würfel und bei einer Ku»gel von Kupfer, allein die Erscheinungen der ersten Drehung und des »Rücksprungs hören auf. — — —

»Andere Metalle zeigen diese Erscheinungen auch, aber um so schwächer, »je weniger gut leitend sie sind. Wismuth und schweres Glas zeigen nichts »der Art.«

Faraday versucht nun diese Erscheinungen auf die Bildung von Inductionsströmen zurückzuführen, welche im Kupfer entstehen, einestheils durch seine Bewegung zwischen den Magnetpolen, anderntheils, daß nach Schließung der Kette der Magnetismus des Eisens einige Zeit braucht, um bis zu seinem Maximum zu wachsen und nach Aufhören des galvanischen Stromes zu verschwinden. Klar ist, daß eine Kupfermasse, welche zwischen zwei Magnetpolen oscillirt, in Folge der dabei auftretenden Inductionsströme sehr bald zur Ruhe kommen muß, wie ja auch eine Magnetnadel über einer Kupferscheibe bald zur Ruhe kommt. Dieser die

Bewegung hemmende Einfluß kann aber durchaus nichts änderen in der Richtung, welche die Kupferstange einzunehmen hat, so wenig wie durch die in der Kupferscheibe inducirten Ströme die Magnetnadel gehindert wird, sich in den magnetischen Meridian einzustellen. Wie aber Faraday durch die beim Schließen der Kette im Kupferstäbchen inducirten Ströme die kurze Bewegung gegen die axiale Lage hin erklären will, ist mir wenigstens aus seiner Auseinandersetzung nicht klar geworden; auch sehe ich nicht recht ein, auf welche Thatsachen gestützt Faraday das Kupfer in die Reihe der diamagnetischen Metalle setzt.

Gehen wir nun zur einundzwanzigsten Reihe von Faraday's Experimentalunterſuchungen über (Phil. transact. f. 1846, p. 41; Pogg. Ann. LXX. 24).

Ein glühender Eisendraht stellt sich zwischen den Polen des Elektromagneten noch axial, doch ist die richtende Kraft sehr schwach. Beim Abkühlen wurde keine allmälige Zunahme der magnetischen Kraft bemerkt, bis die Temperatur zu einem gewissen Punkt gelangt; das Eisen erlangte nun rasch, obwohl nicht instantan, seine hohe Magnetkraft und flog dann einem Pole zu.

Wie das Eisen, so wird auch das Nickel bei steigender Temperatur indifferent gegen gewöhnliche Magnete, und zwar schon bei der Temperatur des siedenden Oels; zwischen den Polen des Elektromagneten wurde es aber noch axial gestellt, wenn auch mit geringer Kraft, wie hoch auch die Temperatur stieg. Bei sorgfältiger Senkung der Temperatur des Nickels ergab sich, daß auch seine Magnetkraft allmälig zunahm.

Eisenoxyde, Nickel- und Kobaltoxyd zeigten sich magnetisch, und zwar sowohl kalt als warm.

Zu den Eisensalzen übergehend, fand Faraday auch diese magnetisch, d. h. sie stellten sich axial. Es zeigte sich magnetisch: das Chlorür, Chlorid, Oxydulsulphat, Oxydsulphat, Nitrat u. s. w., von Eisen eben so Berlinerblau; unter den natürlichen Eisenverbindungen waren es Sumpferz, Blutstein, Chromeisenstein, Schwefelkies u. s. w.

Grünes Bouteillenglas ist wegen seines Eisengehaltes sehr stark magnetisch. — Krystalle von gelbem und rothem Blutlaugensalz hingegen stellten sich äquatorial.

Auch die Lösungen der oben genannten Eisensalze stellen sich, in Glasröhren gefüllt, axial.

Krystalle von schwefelsaurem Nickeloxyd und schwefelsaurem Kobaltoxyd wurden eben so wie ihre Lösungen magnetisch gefunden; eben so die Lösung von Nickelchlorid und Kobaltchlorid.

Die Lösungen von Salzen diamagnetischer Metalle zeigten sich nicht magnetisch.

Es wurden drei Lösungen von Eisenvitriol vorgerichtet, von denen die erste 16 Procent, die zweite 4 Procent, die dritte endlich 1 Procent Salz enthielt. In Glasröhren gefüllt, stellten sich alle drei Lösungen axial, wenn auch die richtende Kraft mit der Concentration der Lösung abnahm. Wurde zwischen die Magnetpole ein Gefäß mit Wasser oder Alkohol gebracht und dann die Röhre mit der Vitriollösung in diese Flüssigkeiten hineingesenkt, so stellte sie sich axial, wie in Luft; enthielt aber das Gefäß auch eine Lösung von Eisenvitriol, so stellte sich die Röhre nur dann axial, wenn die Lösung in der Röhre concentrirter war als die sie umgebende. Eine Röhre mit der Lösung Nr. 2 stellte sich axial in der Lösung Nr. 3, äquatorial in Nr. 1; in Nr. 2 war sie indifferent; Nr. 3 stellt sich in den beiden anderen Lösungen äquatorial, Nr. 1 stellt sich axial in Nr. 2 und Nr. 3.

Gleiche Resultate gaben Lösungen anderer Eisensalze.

Da die magnetischen Metalle, Eisen, Nickel und Kobalt, in ihren Verbindungen ebenfalls Substanzen von magnetischen Eigenschaften darstellen, so schien es sehr wahrscheinlich, daß andere Metalle, hinsichtlich deren magnetischen Charakters, wegen eines möglichen Eisengehaltes der untersuchten Proben, Zweifel obwalten, auf diese Weise, nämlich durch Prüfung ihrer Verbindungen, in Bezug auf ihren magnetischen Charakter geprüft werden könnten.

Wollaston hat die magnetischen Wirkungen des Titans beschrieben und in der That stellte sich auch reines Titanoxyd axial.

Mangan ist, nach Berthier's Angaben, bei sehr niedrigen Temperaturen magnetisch. Faraday fand, daß sich Manganoxyd, Manganoxydul und gereinigte Mangansalze, letztere sowohl als Krystalle als in Lösung axial stellten.

Chromoxyd und Chromoxydul stellen sich axial, aber die Lösungen von chromsaurem und doppeltchromsaurem Kali zeigen sich diamagnetisch, wohl deshalb, weil die diamagnetische Wirkung der Körper vorwiegt, mit welchen das schwach magnetische Chrom verbunden ist.

Platinchlorid, sowohl trocken als in Lösung, stellte sich äquatorial, Platinschwamm aber axial.

Auf ähnliche Weise untersuchte Faraday noch viele Metalle und stellt sie nach ihrem magnetischen Verhalten geordnet in folgender Weise zusammen:

Magnetisch	Diamagnetisch
	Wismuth
	Antimon
	Zink
	Zinn
	Kadmium
	Natrium
Eisen	Queckſilber
Nickel	Blei
Kobalt	Silber
Mangan	Kupfer
Chrom	Gold
Cer	Arſen
Titan	Uran
Palladium	Rhodium
Platin	Iridium
Osmium	Wolfram.

0

Als Nullpunkt iſt derjenige Zuſtand angenommen, wo ein Metall oder eine Subſtanz, was Anziehung oder Abſtoßung betrifft, ſich indifferent verhält. Je weiter eine Subſtanz von dieſem Punkt geſtellt iſt, deſto entſchiedener tritt ſeine Anziehung oder Abſtoßung gegen den Magneten hervor. Bei genauerer Prüfung wird die obige Ordnung der Metalle wohl noch Modificationen erfahren.

Faraday experimentirte nun mit Gaſen. Er fand, daß ſie ſich durchaus neutral verhalten.

Eine dünne Glasröhre verhält ſich zwiſchen den Polen eines Elektromagneten ganz gleich, mag ſie nun Luft, ein anderes Gas oder einen Dampf enthalten, mag das Gas verdichtet oder verdünnt ſeyn, ſo weit man mit Hülfe einer Luftpumpe evacuiren kann. Die Wirkung iſt lediglich durch den Einfluß der Magnetpole auf die Glaswand beſtimmt; der gasförmige Inhalt der Röhre ändert nichts. — Eben ſo verhalten ſich andere aufgehängte Körper zwiſchen den Polen des Elektromagneten ganz auf gleiche Weiſe, mögen ſie nun von Luft oder einem andern Gas oder vom Vacuum umgeben ſeyn.

Faraday ſchloß daraus, daß die Gaſe vielleicht in der Mitte zwiſchen den magnetiſchen und diamagnetiſchen Körpern ſtehen, was jedoch, wie wir alsbald ſehen werden, nicht der Fall iſt; ihr neutrales Verhalten in dem eben betrachteten Falle erklärt ſich, wie Faraday bemerkt, auch dadurch, daß die Gaſe zu wenig dicht ſind, um den Einfluß der in

dem Versuch gleichzeitig zur Wirkung kommenden festen Körper zu modificiren.

269 **Theorie des Diamagnetismus.** Den Schluß der 21sten Reihe von Experimentalunterſuchungen bildet eine Reihe von Betrachtungen über die beſprochenen Phänomene. Das Verhalten der diamagnetiſchen Körper gegen Magnetpole ließe ſich wohl, wie Faraday bemerkt, durch die Annahme erklären, daß in einem ſolchen Körper, alſo z. B. in einem Wismuthſtäbchen, durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'ſchen Strömen des Magneten entgegengeſetzt ſind, ſo daß gleichnamige Pole einander gegenüber zu ſtehen kämen, während in magnetiſchen Metallen mit dem Magneten gleichgerichtete Ströme gebildet werden, ſo daß ſich ungleichnamige Pole einander gegenüberſtehen. Dies würde den Strömen in diamagnetiſchen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche zu Anfang des inducirenden Stromes in benachbarten Leitern inducirt werden, und in den magnetiſchen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören deſſelben inducirenden Stromes entſtehen. Faraday hat dieſe Anſicht aber weder ausgebildet noch feſtgehalten, ſondern gegen die von einer indifferenten Repulſion vertauſcht, hauptſächlich deshalb, weil man an zwei Wismuthſtäben, welche gleichzeitig dem Einfluß eines kräftigen Magneten ausgeſetzt ſind, bisher keine gegenſeitige Einwirkung wahrgenommen hat.

Welche von dieſen beiden Anſichten die richtige ſey, kam zunächſt durch Reich's Verſuche zur Entſcheidung.

Um über die Abſtoßung diamagnetiſcher Körper durch Magnetpole Verſuche anzuſtellen, wandte Reich eine zur Beſtimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde hergerichtete Drehwage an (Bericht über die Verhandlungen der k. ſächſiſchen Geſellſchaft der Wiſſenſchaften, Sitzung vom 18ten Mai 1847; Pogg. Ann. LXXIII. 60). An einem ſtarken eiſernen an einer maſſiven Mauer befeſtigten Arme hängt mittelſt eines Kupferdrahtes ein horizontaler hölzerner Arm von 2 Meter Länge, und an jedem Ende deſſelben mittelſt feiner Metalldrähte einer Metallkugel; das Ganze iſt in einem hölzernen Gehäuſe eingeſchloſſen, welches aber nirgends mit der Drehwage in Berührung iſt. Der Arm trägt einen Spiegel, in welchem mit einem Fernrohre an einer entfernten Scala die Stellung des Armes beobachtet wird.

Die anhängenden Kugeln beſtanden aus Zinn mit 10 Procent Wismuth und etwa 2 Procent Blei. Als von der Seite her einer Kugel der Pol eines Magneten genähert wurde, entſtand eine deutliche Abſtoßung. Ein ſolcher Verſuch gab z. B. folgende Reſultate. Der Arm ſtand auf 41,5 der Scala. Als nun der Nordpol eines vierpfündigen Magnetſtabes ge-

nähert wurde, brachte er den Arm auf 53,14; der Südpol brachte ihn auf 54,05. Nach entferntem Magnet stellte sich der Arm wieder auf 42,80. Nimmt man aus der ersten und letzten Ruhelage bei entferntem Magnete das Mittel, so ergiebt sich:

Abstoßung durch den Nordpol . . 11,445 Scalentheile
» » » Südpol . . 13,300 »

Die Differenz mag in einer unsymmetrischen Vertheilung des Magnetismus im Magnetstabe ihren Grund haben.

Wäre diese Abstoßung eine indifferente, so müßten ein Nordpol und ein Südpol, von derselben Seite her einer diamagnetischen Kugel genähert, ihre Wirkungen gegenseitig verstärken; ist aber die Abstoßung die Folge einer magnetischen Vertheilung im Sinne der früheren Faraday'schen Ansicht, so müssen sich die Wirkungen zweier gleichen von derselben Seite her genäherten ungleicharmigen Pole gegenseitig aufheben.

Reich stellte den Versuch wirklich an, er näherte der Kugel von derselben Seite her mehrere Magnetstäbe und zwar zur Hälfte mit dem Nordpol, zur Hälfte mit dem Südpol; auf diese Weise war gar keine oder nur eine unbedeutende von der Ungleichheit der angewandten Magnete herrührende Wirkung wahrzunehmen, woraus hervorgeht, daß die Wirkung der Nordpole die Wirkung der Südpole aufhebt.

Die Zinnkugeln wurden mit Kugeln von Wismuth vertauscht und dann die Stärke der Abstoßung für verschiedene Entfernungen zwischen der Kugel und dem Magnetpole gemessen; Reich folgert aus diesen Versuchen, daß:

1) die abstoßende Wirkung vorzugsweise auf die zugewendete Oberfläche des diamagnetischen Körpers stattfinde, und

2) daß diese Abstoßung abnehme, wie die dritte Potenz der Entfernung des Magnetpols zunimmt.

Nachdem Reich durch seine Versuche dargethan hatte, daß die diamagnetische Abstoßung des Wismuths die Folge einer durch den Magnetpol im Diamagneticum hervorgerufenen Polarität ist, unternahm es Weber, die Natur derselben näher zu ermitteln, wobei ihm die bereits angeführte erste Vorstellung Faraday's von dem Wesen des Diamagnetismus zum Ausgangspunkt diente.

Wenn in einem diamagnetischen Körper durch die Nähe eines Magnetpols wirklich eine Polarität hervorgerufen wird, welche mit der des wirksamen Magnetpols gleichnamig ist, so müssen, schloß Weber, die diamagnetischen Pole unter Umständen auch anziehend auf einen Magnetpol wirken können. Zu diesem Zweck darf man aber nicht diejenige Kraft beobachten, welche das diamagnetische Wismuth auf denjenigen Magnet-

pol ausübt, von welchem es ſelbſt diamagnetiſirt worden iſt, ſondern man muß ſolche Kräfte beobachten, welche jenes Wismuth auf andere Magnetpole in der Ferne ausübt, welche keinen Einfluß auf ſeinen diamagnetiſchen Zuſtand haben.

Weber hat dieſen Fall auf folgende Weiſe verwirklicht. Es ſei ns, Fig. 261, eine kleine Magnetnadel, welche an einem Coconfaden aufgehängt iſt; ein Wismuthſtäbchen w nun, welches ſich in einer Ebene befindet, welche die Magnetnadel rechtwinklig halbirt, wird nach Reich's Erfahrung für ſich keinerlei Ablenkung auf die Magnetnadel ausüben können. Wird nun ein Elektromagnet ſo aufgeſtellt, daß w gerade in die Mitte zwiſchen die beiden Pole a und b deſſelben zu liegen kommt, und dann das Wismuthſtäbchen entfernt, ſo wird der Elektromagnet die Magnetnadel allerdings kräftig ablenken, man kann aber dieſe Einwirkung dadurch wieder neutraliſiren, daß man einen Magnetſtab M in entſprechender Lage und Entfernung auf der andern Seite der Magnetnadel anbringt.

Fig. 261.

Bringt man nun nach dieſen Vorbereitungen daſſelbe Stück Wismuth, welches vorher auf die Nadel gar nicht wirkte, an die nämliche Stelle wie früher, d. h. zwiſchen die beiden Pole des Elektromagneten, ſo zeigt ſich nun eine ſehr wahrnehmbare und meßbare Wirkung, nämlich eine Ablenkung der Nadel in Folge davon, daß der eine Pol abgeſtoßen, der andere angezogen wird.

Kehrt man die Pole der Magnete (ab und M), deren Wirkungen auf die Nadel ſich compenſiren, um und wiederholt man dann den Verſuch, ſo findet man, daß das nämliche Stück Wismuth, an die nämliche Stelle und in die nämliche Lage gebracht, jetzt gerade die entgegengeſetzte Ablenkung hervorbringt.

Vertauſcht man das Stück Wismuth mit Eiſen, ſo findet man, daß die vom Eiſen hervorgebrachte Ablenkung ſtets die entgegengeſetzte von der iſt, welche das Wismuth unter denſelben Verhältniſſen bewirkt.

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, ſo werden in demſelben nach den bekannten Geſetzen der Induction Ströme gebildet, welche den Ampère'ſchen Strömen des Magneten entgegengeſetzt ſind; wird z. B. ein Kupferſtäbchen dem Nordpol eines Magneten genähert, ſo wird das dem Magneten zugekehrte Ende des Kupferſtücks durch dieſe inducirten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, ſelbſt zu einem Nordpol; Gleiches wird nun auch in einem Wismuthſtäbchen der Fall ſeyn, wie es Weber auch durch den Verſuch gezeigt hat.

Auf den oberen Pol eines kräftigen, stabförmigen Elektromagneten wurde eine Drahtrolle gelegt, welche bei 140^{mm} Länge eine innere Höhlung von 15^{mm} Durchmesser hatte; ihre Enden waren mit einem empfindlichen Multiplicator verbunden. War nun der Elektromagnet in Thätigkeit, so zeigte die Ablenkung des Multiplicators, daß ein Wismuthstab beim Einschieben in die Inductionsrolle, also während der Annäherung gegen den Magnetpol, eine der obigen Auseinandersetzung entsprechende Polarität annimmt.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird also ein Wismuthstab durch Induction in einen polaren Zustand versetzt, welcher demjenigen ganz gleich ist, welchen wir zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen annehmen müssen. Bekanntlich sind aber die Ströme, welche in der Masse eines Leiters inducirt werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend, sie verschwinden alsbald, wenn der Leiter ruhig in seiner Stellung gegen den Magneten verbleibt; um also die Erscheinungen des Diamagnetismus zu erklären, kommt es darauf an, zu zeigen, wie es möglich ist, daß dieser bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zustand ein bleibender seyn kann, so lange sich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismuth magnetische Fluida vorhanden, wie im Eisen, oder wäre, was auf dasselbe hinauskommt, jedes Wismuthmolekül schon von einem continuirlichen Strome umkreist, wie wir uns die Ampère'schen Ströme um die Eisenmolekule denken, so könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, als wie beim Eisen auch, d. h. er müßte die Fluida in der bekannten Weise scheiden oder er müßte die schon vorhandenen Molekularströme denen des einwirkenden Magnetpoles parallel stellen, kurz, auf schon vorhandene, durch den Magneten erst zu richtende Molekularströme lassen sich also die Erscheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Ströme, welche dem diamagnetischen Körper seine Polarität ertheilen, müssen also erst bei der Annäherung gegen einen Magnetpol, oder dadurch, daß der Magnetismus in demselben entsteht, gebildet werden, sie dürfen aber nicht vorübergehend seyn, wie die gewöhnlichen in der Masse von Leitern inducirten Ströme, sondern sie müssen beharrlich seyn, sie müssen so lange andauern, als der diamagnetische Körper dem Magnetpole gegenüber bleibt.

Dies ist nun durch die Annahme zu erklären möglich, daß in dem diamagnetischen Körper Molekularströme inducirt werden, d. h. Ströme, welche die einzelnen Moleküle des diamagnetischen Körpers umkreisen, sich aber nicht in der Masse derselben, von einem Molekül zum andern fortschreitend, bewegen.

Der Unterschied zwischen Strömen, welche durch Leiter in größeren Kreisen sich bewegen, und den Molekularströmen besteht nur darin, daß die strömende Elektricität der ersteren beim Vorübergehen an den Molekülen des Leiters einen mehr oder minder bedeutenden (Leitungs-) Widerstand zu überwinden hat, wodurch ihre lebendige Kraft so schnell entzogen wird, daß sie in einer unmeßbar kleinen Zeit zur Ruhe gelangen muß, wenn ihr der erlittene Verlust nicht durch fortdauernde elektromagnetische Kräfte immer wieder ersetzt wird. Das Gegentheil gilt von den Molekularströmen, welche nicht durch den Leiter von Molekül zu Molekül fortgehen, sondern sich um ein einziges Molekül herumbewegen, für die also jener Grund der Entziehung der lebendigen Kraft wegfällt. Diese Ströme beharren also ohne elektromotorische Kraft in gleicher Intensität.

Wirkt nun eine inducirende Kraft auf einen Körper, so können dadurch zweierlei Ströme gebildet werden, die gewöhnlichen Inductionsströme, welche sich durch die Masse des Körpers bewegen und mit den inducirenden Kraft verschwinden, und inducirte Molekularströme, welche auf ihrem Wege um die Moleküle herum keinen Widerstand finden und ungeschwächt fortdauern müssen, bis in Folge einer neuen entgegengesetzten Induction neue entgegengesetzte Molekularströme hinzukommen, welche die ältern aufheben.

Nach der Weber'schen Theorie des Diamagnetismus sind also die hierher gehörigen Erscheinungen durch Molekularströme zu erklären, welche in dem Diamagneticum durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, daß in einem benachbarten Pole der Magnetismus entsteht, und welche so lange fortdauern, bis das Verschwinden des Magnetismus in dem Magnetpole oder die Entfernung des Diamagneticums von demselben eine entgegengesetzte Induction bewirkt und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

Die in größeren Kreisen sich bewegenden Inductionsströme können sich in Isolatoren nicht bilden, inducirte Molekularströme sind aber in ihnen wohl möglich, da ja auch Nichtleiter, z. B. schweres Glas, von den Magnetpolen abgestoßen werden und sich äquatorial stellen.

Auch Poggendorff hat zwei Methoden angegeben, um die diamagnetische Polarität nachzuweisen (Pogg. Annalen LXXIII, 475). Das erste Verfahren besteht darin, daß man einem Wismuthstäbchen, während es neben dem einen Pol, z. B. dem Nordpol, eines kräftigen Elektromagneten an einem Coconfaden in äquatorialer Lage hängt, von derselben Seite her den Südpol eines kleinen Stahlmagneten nähert. Bei einiger, sich leicht ergebender Vorsicht kann man dann deutlich sehen, daß die dem elektromagnetischen Pol zugewendete Seite des Stäbchens vom Stahlmagnet angezogen wird.

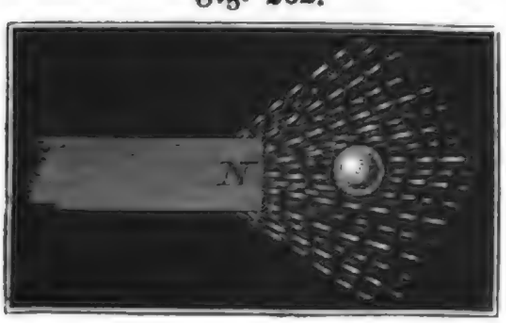
Noch überzeugender ist das zweite Verfahren, welches von dem ersten darin abweicht, daß man den Stahlmagneten durch einen galvanischen Strom ersetzt. Das Wismuthstäbchen wird zu dem Ende zwischen beiden Polen des Elektromagneten aufgehängt und zwar innerhalb eines Drahtgewindes, dessen Windungen das Stäbchen bei seiner äquatorialen Stellung rechtwinklig umgeben würden. Ein Strom, welcher durch die Spirale geht, wirkt nicht auf das Wismuthstäbchen, so lange der Elektromagnet nicht in Thätigkeit ist. Wenn aber der Elektromagnet in Wirksamkeit gesetzt und das Wismuthstäbchen dadurch in die äquatoriale Lage gebracht worden ist, kann man es aus dieser Lage ablenken, sobald man einen Strom durch die Spirale gehen läßt, und zwar rechts oder links, je nach der Richtung des Stroms und zwar immer in dem Sinn, wie die Ablenkung erfolgen muß, wenn die Seiten des Stabes gleiche Polarität mit den ihnen zugewandten Magnetpolen besitzen.

Hankel hat ebenfalls versucht, eine Theorie des Diamagnetismus zu construiren. Der Grundgedanken dieser Theorie spricht er in folgenden Worten aus (Pogg. Ann. LXXV, 112):

»Das Licht und die strahlende Wärme wirken durch die verschiedenen »Körper hindurch, durchdringen sie aber niemals ohne Verlust, der theils »an ihrer Oberfläche, theils in ihrem Inneren stattfindet. Sollte die »magnetische Kraft allein ganz ungehindert durch die verschiedenartigen »Substanzen hindurchdringen? Wenn dem nicht so ist, so werden die von »diesen ausgehenden magnetischen Kraftlinien, sobald sie eine in ihrer »Bahn beliebig gelegene Substanz durchdringen wollen, einen Widerstand »finden, den ich mit einer Reibung vergleichen möchte. Durch diesen Wi»derstand wird ein Theil der magnetischen Kraftlinie aufgehalten oder ver»nichtet. Der von dem eingeschalteten Körper erzeugte Widerstand wird »nun an die Masse desselben übertragen werden und ein leicht beweglich »aufgehangener Körper muß in Folge dessen eine Richtung annehmen, in »welche die von zwei oder mehreren Magnetpolen ausgehenden Kraftlinien »sich hinsichtlich dieses Widerstandes oder der dadurch übertragenen Kräfte »im Gleichgewichte finden.«

»Das Vorstehende wird sogleich deutlicher werden, sobald wir einige spe»cielle Fälle betrachten.«

Fig. 262.



»Es sei *N* Fig. 262 der Nordpol »eines Magneten; dann werden die »magnetischen Kraftlinien etwa die »durch die kleinen Striche angedeutete »Richtung haben. Eine vor dem »Magnetpole an einem langen Cocon»faden aufgehangene kleine Wismuth=

»kugel wird von dem Pole *N* abgestoßen werden, weil die magneti»schen Kraftlinien beim Durchgange durch die Kugel auf Hindernisse sto»ßen. Durch diese, gewissermaßen als Reibung zu bezeichnende Wirkung »wird die Kugel von den Stellen der stärkeren Wirkung zu den Stellen »der schwächeren Wirkung übergeführt, bis dieser äußerlich als Abstoßung »erscheinenden Kraft durch das Gewicht der Wismuthkugel das Gleichge»wicht gehalten wird. Ein Gleiches erfolgt auch, wenn der angewandte »Pol ein Südpol ist.«

Hankel wendet nun seine Theorie auf die verschiedenen diamagnetischen Erscheinungen an. Die Beobachtung Reich's, daß eine Wismuthkugel nicht abgestoßen wird, wenn von derselben Seite her ein Nord- und ein Südpol von gleicher Stärke genähert wird, erklärt er dadurch, daß für diesen Fall die Magnetkraftlinie die Fig. 263 dargestellte Lage habe.

Fig. 263.

Zugegeben, daß Hankel's Theorie alle Erscheinungen des Diamagnetismus ebenso gut zu erklären im Stande sey, wie die von Weber aufgestellte, so läßt sich doch das Bedenken nicht unterdrücken, daß die Hankel'sche Theorie so ganz allen Zusammenhangs mit den Vorstellungen entbehrt, die wir uns gegenwärtig von allen übrigen magnetischen und elektrischen Erscheinungen machen.

270 **Diamagnetismus der Flamme.** Die früheren Versuche Faraday's gaben auf das Verhalten der Gase gegen Magnetpole keine entscheidenden Resultate; es blieb zweifelhaft, ob die Gase auf den magnetischen Nullpunkt zwischen die magnetischen und diamagnetischen Körper zu stellen seyen, oder ob die negativen Resultate daher rührten, daß die Masse der Gase zu unbedeutend war, um die Wirkung der Magnetpole auf die Wandungen der dünnen Röhren zu modificiren, in welchen die Gase eingeschlossen waren.

Um die Universalität des Magnetismus darzuthun, machte Bancalari von Genua auf der im Herbst 1847 zu Venedig gehaltenen Versammlung italiänischer Naturforscher Versuche über das Verhalten der Flamme gegen Magnetpole, um auf diese Weise die Wirkung des Magnetismus auf Gase zu verificiren. Es ergab sich, daß die Flamme, zwischen die Pole eines Elektromagneten gestellt, im Augenblicke der Herstellung des elektrischen Stromes eine Abstoßung erfährt, und bei Unterbrechung desselben sogleich wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt

Zantedeschi wollte den Versuch wiederholen; anfangs glückte es ihm nicht, später aber gelang es ihm, die Erscheinung selbst mit sehr geringen Mitteln hervorzubringen. (Gazz. Piemont. 1847, 12. Oct. Nr. 242; Pogg. Ann. LXXIII, 286.)

Nachdem Faraday Nachricht von den oben besprochenen Resultaten der italiänischen Naturforscher erhalten hatte, stellte auch er Versuche über das Verhalten der Flamme zwischen Magnetpolen an; er fand alsbald das Hauptresultat, nämlich den Diamagnetismus der Flamme, bestätigt. Im Wesentlichen fand stets eine Abstoßung der Flamme durch die Magnetpole statt, welche sich dadurch zeigte, daß sie, von den axialen Dimensionen zurückweichend, sich mehr in äquatorialer Richtung ausdehnt. (Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXI pag. 401. Pogg. Ann. LXXIII, 256.)

Auch Plücker hat, und zwar ganz selbstständig, über diesen Gegenstand experimentirt, und ähnliche Resultate erhalten, wie Bancalari, Zantedeschi und Faraday. Was die näheren Details der Erscheinung betrifft, so wollen wir der Plücker'schen Beschreibung folgen, weil er sie durch Abbildungen verdeutlicht hat. (Pogg. Ann. LYIII, 549.)

Um die Frage über den Diamagnetismus der Gase zur Entscheidung zu bringen, suchte Plücker zuerst die Masse der dieselben einschließenden Hüllen möglichst zu vermindern. Er experimentirte mit Seifenblasen, erhielt aber nur negative Resultate und wandte sich deshalb zur Untersuchung gefärbter Gase ohne Hüllen.

Die auf die Polflächen seines Elektromagneten aufgelegten Halbanker waren mit conischen Spitzen versehen, die einander auf 3,5 mm genähert wurden. Unter dieselben wurde eine etwas dickere, vorher erwärmte Platinplatte gebracht und das Ganze mit dem oben offenen Glaskasten der Torsionswage überdeckt. Als nun Jodstückchen auf die Platinplatte gebracht wurden, stiegen die Joddämpfe in Form einer schmalen geraden Säule zwischen den Polspitzen in die Höhe; die Schließung der Kette bewirkte aber, daß sie sich in der Höhe der Polspitzen augenblicklich theilte und in der Aequatorialebene eine Parabel bildete, die bis zu einer Höhe von 100 bis 150 mm noch ganz scharf blieb. Dieser Versuch beweist, daß die Joddämpfe von beiden Polen eines Magneten abgestoßen werden.

Aehnlich verhalten sich Bromdämpfe, Chlor, salpetrige Säure, sichtbarer Wasserdampf u. s. w., alle zeigten sich stärker diamagnetisch als die Luft.

Da die verschiedenen Flammen nichts anderes sind, als die bei dem Verbrennungsprocesse erzeugten, im glühenden Zustande befindlichen Gase mit oder ohne beigemischte glühende feste Stoffe, so wandte sich Plücker nun zur Untersuchung des Einflusses, welchen die Magnetpole auf die

Flammen ausüben. Unter den mannigfaltigen Formen, welche die Erscheinung darbietet, je nachdem man Form und Entfernung der Halbanker oder die Natur der Flammen selbst abänderte, wollen wir einige der charakteristischsten hervorheben.

Die Polspitzen waren durch einen Zwischenraum von 3,5 mm von einander getrennt; eine ruhig brennende, keinen Ruß absetzende Talgkerze wurde so zwischen die Polspitzen gehalten, daß sich diese in 7/8 der ursprünglichen Höhe der Flammen befanden. Fig. 264 *a* zeigt für diesen Fall die äquatoriale Ansicht, Fig. 264 *b* den axialen Durchschnitt der Flamme.

Fig. 264.

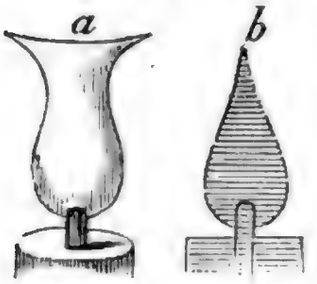
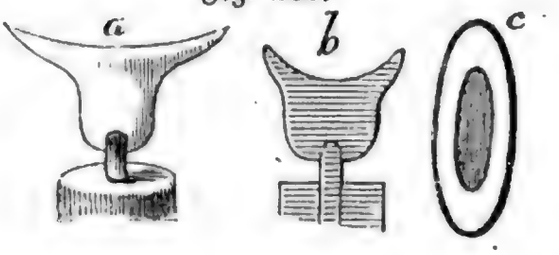


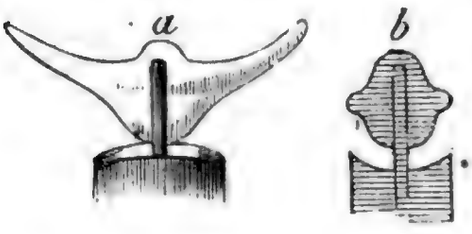
Fig. 265.



Als die Flamme gehoben wurde, so daß sich die Polspitzen in der Hälfte ihrer ursprünglichen Höhe befanden, nahm die Flamme in äquatorialer Richtung die Gestalt Fig. 265 *a* an, Fig. 265 *b* stellt den entsprechenden axialen Durchschnitt dar. Fig. 265 *c* ist eine Ansicht der Flamme von oben.

Endlich wurde die Talgkerze so weit gehoben, daß sich die beiden Polspitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe befanden und die Flamme, durch die eisernen Polspitzen abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte. Als die Kette geschlossen wurde, erhielt sie nicht allein ihr früheres Licht wieder, sondern sie brannte noch stärker, indem sie heruntergedrückt wurde und in der Aequatorialansicht die Form Fig. 266 *a* annahm. Ein senkrechter axialer Durchschnitt ist in Fig. 266 *b* dargestellt.

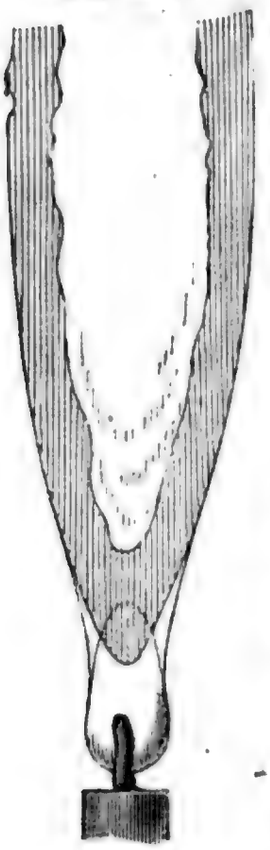
Fig. 266.



Bei diesen Versuchen mit der Talgkerze brannte dieselbe, ohne Ruß abzusetzen. Ein stark rußendes Talglicht bietet ganz andere Erscheinungen dar. Wenn sich insbesondere die beiden Polspitzen in 3/4 der Höhe der ursprünglichen Flamme befanden, so ergab sich beim Schließen der Kette die in Fig. 267 (s. gegenüberstehende Seite) dargestellte Aequatorialansicht. Der aufsteigende graue Qualm breitete sich bei einer Dicke von 7 mm in der Aequa-

torialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts scharf von einer Parabel begränzt, deren Scheitel genau in die Mitte zwischen die beiden Polspitzen fällt.

Fig. 267.



Aehnliches zeigte eine rußende Terpentinölflamme, der von einem brennenden Stück Zunder aufsteigende Rauch u. s. w.

Alle die verschiedenen Formen, welche die Flammen unter dem Einfluß von Magnetpolen annehmen, erklären sich aus der Annahme, daß die Masse der Flammen durch die Magnetpole abgestoßen wird und daß diese Abstoßung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach den Seiten erfolgt; es wird also durch diese Versuche bewiesen, daß die verschiedenen untersuchten Flammen sich diamagnetisch verhalten und zwar, daß sie in höherem Grade diamagnetisch sind als die umgebende Luft.

In der Flamme einer Talg-, Stearin- oder Wachskerze findet sich glühende fein zertheilte Kohle, in der Phosphorflamme findet sich glühende feste Phosphorsäure vor, und diesen Körpern könnte man die beobachtete Abstoßung der entsprechenden Flammen zuschreiben; allein auch die Flammen des Wasserstoffgases, des Alkohols, des Schwefels zeigen dieselben Erscheinungen, und in diesen Flammen befinden sich doch keine festen glühenden Körper, sondern nur Wasserdampf, Kohlensäure und schwefelige Säure, welche im glühenden Zustande sämmtlich stärker diamagnetisch sind als Luft.

Diamagnetismus der Gase. Es ließ sich wohl erwarten, daß die 271
hohe Temperatur der in der Flamme glühenden Gase einen wesentlichen Antheil an dem starken Diamagnetismus hat, den sie zeigen; um diesen Einfluß der Temperatur ganz rein zu haben, stellte Faraday folgenden Versuch an, welcher sich mit den sogleich zu besprechenden weiteren Versuchen über den Diamagnetismus der Gase in dem bereits citirten Aufsatze beschrieben findet. (Pogg. Ann. LXXIII, 256.)

Eine kleine Spirale von dünnem Platindraht war mit ihren beiden Enden an zwei dickere Kupferdrähte befestigt, so daß sie durch den Strom einer Volta'schen Batterie in's Glühen versetzt werden konnte. Auf diese Weise war die brennende Kerze durch eine glühende Spirale ersetzt, welche einen stark erhitzten und zugleich chemisch unveränderten Luftstrom gab. Als der Schraubendraht gerade unter die axiale Linie gestellt ward, stieg die erhitzte Luft frei zwischen den Polen empor, wie sich dies beim Dar-

überhalten eines Thermometers oder eines Fingers oder eines Papiers, welches verkohlt wurde, ergab. Sobald aber der Magnet in Thätigkeit gesetzt wurde, theilte sich die heiße Luft in zwei Ströme, die an den beiden Seiten der axialen Linie emporstiegen; allein zwischen den Polen bildete sich ein niedersinkender Strom, der hinabging zum Schraubendraht und zur heißen Luft, welche seitwärts aufstieg.

Die erhitzte Luft ist also stärker diamagnetisch, als Luft von gewöhnlicher Temperatur. Ebenso zeigte sich Luft von gewöhnlicher Temperatur diamagnetisch gegen solche, welche stärker erkaltet war.

Um das Verhalten verschiedener Gasarten bei gleicher Temperatur (der Temperatur der umgebenden Luft) zu prüfen, schlug Faraday folgendes Verfahren ein. Das zu prüfende Gas befand sich in einer Woulf'schen Flasche. In die eine Oeffnung derselben wurde eine fast bis zum Boden der Flasche hinabragende Röhre befestigt und durch diese wurde das Wasser eingegossen, welches das Gas austreiben sollte. Der Zufluß des Wassers war so regulirt, daß in der Minute 12 Cubikzoll Wasser hier ein-, also ebenso viel Gas durch die andere Oeffnung ausströmte. Das Gas wurde durch eine Glasröhre zu der Stelle geleitet, an welcher es ausströmen sollte. Die Ausströmungsöffnung hatte ungefähr $\frac{1}{8}$ Zoll Durchmesser; sie befand sich unter den Polspitzen, wenn man mit einem leichteren, über den Polspitzen, wenn man mit einem schwereren Gas experimentirte, so daß ein in der Mitte zwischen den Polspitzen aufsteigender oder niedersinkender Gasstrom hervorgebracht wurde.

In der Ausströmungsröhre befand sich ein Stück Fließpapier, welches mit concentrirter Salzsäure befeuchtet war, so daß das ausströmende Gas immer etwas Salzsäure mit sich führte. Um nun den Weg zu zeigen, welchen die aufsteigende oder niedersinkende Gassäule nimmt, verfuhr Faraday in folgender Weise: Ueber oder unter dem Mittelpunkt der Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, war eine an beiden Enden offene Glasröhre, so lang und so dick wie ein Finger, angebracht; eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derselben, so also, daß die Ebene, welche die Axen dieser drei verticalen Röhren verbindet, äquatorial steht. Jede dieser Röhren enthielt ein Stück Fließpapier, welches in Ammoniakflüssigkeit getaucht war, so daß Nebel entstehen mußten, wenn das salzsäurehaltige Gas durch eine solche Röhre hindurchging.

Strömte das Gas frei auf oder ab, so ging es durch die mittlere Röhre; erschien es aber nach Schließung der Kette in den Seitenröhren, so war das ein Zeichen, daß es diamagnetisch gegen Luft ist.

In dieser Weise geprüft, zeigten sich diamagnetisch: Stickstoff (schwach), Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, Steinkohlengas, Chlorwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Am-

moniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan. — Sauerstoff zeigte sich weniger diamagnetisch als Luft. — Stickstoffoxyd und salpeterigsaures Gas gaben keine entscheidenden Resultate.

Faraday änderte nun den Versuch dahin ab, daß er den Versuchsraum gegen die äußere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure, mit Steinkohlengas oder mit Wasserstoffgas füllte, so daß die zu untersuchenden Gase nicht in Luft, sondern in Kohlensäure, Steinkohlengas oder Wasserstoffgas ausströmten.

In Kohlensäure ging Sauerstoff zur Magnetaxe; Stickstoff, Wasserstoff, Steinkohlengas, ölbildendes Gas, Salzsäure und Ammoniak waren in Kohlensäure diamagnetisch.

In Steinkohlengas waren magnetisch: Luft, Sauerstoff, Stickstoff; diamagnetisch waren: ölbildendes Gas, Kohlenoxyd u. s. w.

In Wasserstoffgas waren magnetisch: Luft, Sauerstoff; diamagnetisch waren Stickstoff, Ammoniak u. s. w.

Am Schlusse seiner Abhandlung Seite 579 beschreibt Plücker noch folgenden interessanten Versuch: Zwei Halbanker wurden so auf die Pole gelegt, daß sie mit ihren halbkreisförmigen Enden in kürzester Entfernung noch 5^{mm} von einander abstanden; zwischen ihnen befand sich ein Gefäß von dünnem Messingblech, welches möglichst genau, und nur noch einen kleinen Spielraum übriglassend, zwischen die beiden Anker paßt. Das Gefäß war 41^{mm} hoch, nach äquatorialer Richtung 93^{mm} lang, nach axialer Richtung in der Mitte 4,5, an den Enden 40^{mm} breit. Es war überall luftdicht verschlossen und nur an einer Seite war eine Glasröhre von 1^{mm} Durchmesser eingelassen. Nachdem das Gefäß die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hatte, wurde es durch Berührung mit der Hand ein wenig erwärmt, und dann, um die innere Luft abzusperren, ein Alkoholtropfen vor die Oeffnung der Röhre gebracht. Beim Fortnehmen der Hand trat der Tropfen in die Röhre und kam in der Nähe des Gefäßes zur Ruhe. Dann wurde der Magnetismus durch Schließen einer Kette von 12 Grove'schen Elementen hervorgerufen und in demselben Momente der Alkoholtropfen 3^{mm} nach der Oeffnung der Röhre hin fortgestoßen, und wenn dann, nachdem er nach einiger Zeit zur Ruhe gekommen war, die Kette wieder geöffnet wurde, kehrte er genau zur ursprünglichen Lage zurück. Die Luft war also in Folge diamagnetischer Abstoßung durch den Elektromagneten ausgedehnt worden und hatte sich, mit dem Verschwinden des Magnetismus, wieder auf das ursprüngliche Volumen zurückgezogen.

Einwirkung von Magnetpolen auf Flüssigkeiten. Wenn Mas- 272
sen von feinen Eisenfeilspähnen über die Pole eines Magneten gebracht

werden, so bilden sie, weil sie von den Polen angezogen werden, Anhäufungen, die nach der Form und Entfernung der Pole verschiedene Configurationen annehmen. In entsprechender Weise müssen auch magnetische Flüssigkeiten afficirt werden. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, brachte Plücker (Pogg. Ann. LXXIII, 565) verschiedene Flüssigkeiten in einem Uhrglase über die Pole des Elektomagneten und die beobachteten Erscheinungen entsprachen ganz seinen Erwartungen.

Zuerst experimentirte er mit einer ziemlich concentrirten Auflösung von Eisenchlorid; in einem Uhrglas, in welchem sie ursprünglich einen Kreis von 25^{mm} Durchmesser bildete, wurde die Lösung auf den Zwischenraum zwischen den beiden auf die Pole aufgelegten Halbankern gebracht. Diese Halbanker waren an den einander zugekehrten Seiten etwas abgerundet; in den Figuren 268 und 269 bezeichnen die mit größeren Radien beschriebenen beiden Kreisbogen die oberen gekrümmten Kanten der Halbanker.

Fig. 268.

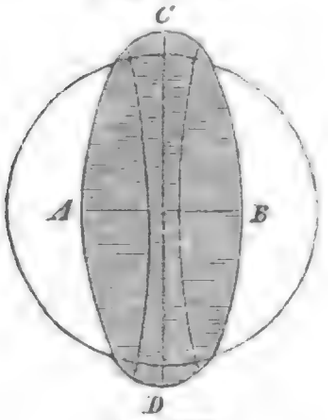


Fig. 269.

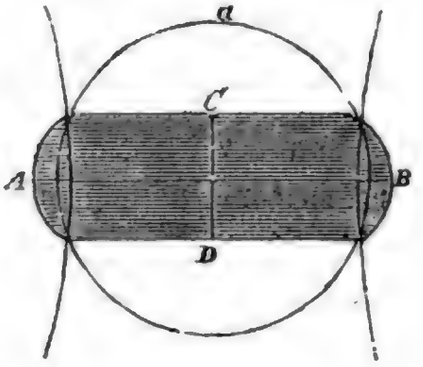


Fig. 270.

Fig. 271.

Als die Halbanker bis auf 2,5^{mm} genähert waren, nahm die ursprünglich kreisförmige Masse der Lösung nach Schließung der Kette die elliptische Gestalt *ABCD* Fig. 268 an; die Axen dieser Ellipse betrugen 30,5 und 13 Millimeter. Gleichzeitig ging auch die horizontale Oberfläche verloren; sie bildet in der äquatorialen Ebene einen Bergrücken, dessen axialen Querschnitt man in Fig. 270 sieht.

Als die Halbanker bis auf 23 Millimeter entfernt wurden, nahm die Flüssigkeit die Gestalt Fig. 269 an; Fig. 271 zeigt den entsprechenden axialen Durchschnitt.

Plücker beschreibt die Erscheinung auch noch für einige andere Entfernungen der Halbanker; ich habe hier nur die charakteristischsten ausgewählt.

Diese Erscheinungen erklären sich ganz einfach aus dem Umstande, daß die magnetische Flüssigkeit sich an den Stellen anzuhäufen strebt, wo die

magnetische Wirkung am kräftigsten auftritt, also über den Kanten der Halbaxen.

Eine Lösung von Eisenchlorür zeigte sich schwächer magnetisch, noch weniger eine solche von Eisenvitriol. Eine Lösung von salpetersaurem Nickeloxyd ist stärker magnetisch als die Lösung des Eisenvitriols.

Diese Versuche wurden mit dem großen Elektromagneten angestellt, welcher durch den Strom von zehn Grove'schen Elementen erregt war.

Plücker unterwarf nun auch diamagnetische Flüssigkeiten demselben Verfahren. Als die Anker bis auf 2,5^{mm} genähert waren, dehnte sich die Flüssigkeit nach der axialen Richtung aus, während sie sich nach der äquatorialen zusammenzog. Oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern bildete sich statt des früheren Bergrückens ein in der Aequatorialebene sich hinziehendes Thal. — Bei diamagnetischen Flüssigkeiten zeigt sich ein Zurückweichen von den Kanten der Halbanker, doch sind die Wirkungen schwächer als bei magnetischen Flüssigkeiten.

Waren die Halbanker 2 bis 4 Millimeter weit von einander entfernt, so zeigte sich keine einzige der von Plücker untersuchten Flüssigkeiten indifferent. Als diamagnetisch wurden auf diese Weise unter anderen erkannt: Wasser, Alkohol, Schwefeläther, Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure, Ammoniakflüssigkeit, Schwefelkohlenstoff, fette und ätherische Oele, Lösungen von salpetersaurem Wismuth, Kochsalz, Salpeter, Glaubersalz; ferner Milch, Blut und namentlich Lösungen von gelbem und rothem Blutlaugensalz.

Stärkere Wirkung als bei Anwendung eines Uhrglases erhält man, wenn man kleinere Quantitäten von Flüssigkeit auf ein Glimmerblatt bringt und dies auf die etwa 3^{mm} von einander entfernten Halbanker legt.

Intensitätsbestimmung magnetischer und diamagnetischer Kräfte. 273 Die Größe der Anziehung, welche magnetische Flüssigkeiten durch Magnetpole erfahren, hat Plücker in folgender Weise gemessen (Pogg. Ann. LXXIV, 321): Zur Aufnahme der Flüssigkeit dient ein Uhrglas mit abgeschliffenem Rande; es wird bis über diesen Rand mit der Flüssigkeit gefüllt und dann dieselbe mit einem als Deckel dienenden matten Glase abgestrichen, so daß man sicher ist, daß die eingeschlossene Flüssigkeit bei gleicher Form stets dasselbe Volumen einnimmt.

Um die Stärke der Anziehung zu bestimmen, wird das Uhrglas mit seinem Inhalte und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing gebracht, der an drei etwa 200^{mm} langen Seidenfäden an einer Wage hängt, welche hinreichend fein ist, um 1 Milligramm anzugeben, und an der, außer der Axe des Wagbalkens, kein Eisen sich befindet. Um die

Wirkung bei ſchwachen Kräften zu verſtärken, wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, ſondern es werden die beiden Halbanker, welche auch zu den in den vorigen Nummern beſchriebenen Verſuchen dienten, ſo auf die Pole gelegt, daß die abgerundeten Enden derſelben noch 6^{mm} von einander abſtanden: die Wage wurde genau ſo adjuſtirt, daß das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tarirt iſt, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker eben berührt. Nach Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas mit ſeinem Inhalt angezogen, und um es von den Halbankern abzureißen, wird auf die Wagſchale der anderen Seite feines Bleiſchrot und dann feiner Sand aufgelegt. Das Gewicht des zugelegten Schrotes oder Sandes iſt das Maaß für die jedesmalige magnetiſche Kraft.

Das leere Uhrglas ſelbſt nebſt dem Meſſingringe zeigte ſich magnetiſch; als der Elektromagnet durch 6 Platinelemente erregt wurde, ward es noch mit einer Kraft von 0,4 Gramm angezogen.

Als das Uhrglas mit Waſſer gefüllt wurde, betrug die Anziehung noch 0,28 Gramm. Die diamagnetiſche Abſtoßung des im Uhrglaſe eingeſchloſſenen Waſſers beträgt alſo 0,12 Gramm.

Nun bereitete Plücker vier Löſungen von Eiſenchlorür, deren Salzgehalt ſich vertheilt wie

8 : 4 : 2 : 1.

Die zum Abziehen nöthigen Gewichte waren für

das Uhrglas mit der Löſung	Nro. 1 . . .	3,94 Gramm	
» » » » »	Nro. 2 . . .	2,14	»
» » » » »	Nro. 3 . . .	1,23	»
» » » » »	Nro. 4 . . .	0,72	»

Dieſe Zahlen geben aber nicht rein die Anziehung des Eiſenchlorürs; um dieſe zu erhalten, muß man die Anziehung des Glaſes ſelbſt und die diamagnetiſche Abſtoßung des Waſſers in Rechnung bringen. Betrachten wir die Löſung Nro 1 als die urſprüngliche magnetiſche Subſtanz, ſo kommen in den folgenden Löſungen $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$ des ganzen Volums an Waſſer hinzu, und die entſprechenden diamagnetiſchen Abſtoßungen ſind, bei der gleichmäßigen Vertheilung des Waſſers durch den ganzen Raum, hiernach die folgenden

0,06 Gramm, 0,09 Gramm, 0,105 Gramm.

Somit ergeben ſich die folgenden Zahlen für die Anziehung der urſprünglichen Eiſenchlorürlöſung

in Nro. 1	$3,94^{gr.}$	$- 0,40^{gr.}$		$= 3,54^{gr.}$
» Nro. 2	2,14	— 0,40	$+ 0,06^{gr.}$ . .	= 1,80
» Nro. 3	1,23	— 0,40	+ 0,09 . .	= 0,920
» Nro. 4	0,72	— 0,40	+ 0,105 . .	= 0,425.

Die Zahlen der letzten Columne verhalten sich in der That sehr nahe wie 8 : 4 : 2 : 1, dieſe Verſuche zeigen alſo, daß die Anziehung der Eiſenchlorürlöſung dem Gehalte an Eiſenchlorür proportional iſt.

Ganz ähnliche Reſultate wurden mit fein zertheiltem Eiſen erhalten, welches gleichmäßig in friſchem Schweineſchmalz vertheilt war. Es wurden fünf verſchiedene Gemenge gemacht, indem

$1{,}6^{gr.}$ $0{,}8^{gr.}$ $0{,}4^{gr.}$ $0{,}2^{gr.}$ $0{,}1^{gr.}$

des fein zertheilten Eiſens mit 25 Gramm Schweineſchmalz in einem Mörſer zu einer für das Auge homogenen Maſſe verrieben wurden.

Das Uhrglas mit reinem Schweineſchmalz gefüllt, wurde mit einer Kraft von 0,25 Grammen angezogen. Dann wurde das Uhrglas nach einander mit jedem der fünf Gemenge angefüllt, das Gewicht des Gemenges im Uhrglaſe (woraus die Menge des in demſelben befindlichen Eiſens ſich berechnen läßt) und endlich das zum Abziehen des Uhrglaſes nöthige Gewicht beſtimmt. Es ergaben ſich hierbei die folgenden Reſultate:

	Gewicht des Gemenges.	Eiſenmenge.	Anziehung.
Nro. 1	10,70 Gramm	0,6848 Gramm	259,95 Gramm
Nro. 2	10,65 »	0,3408 »	133,60 »
Nro. 3	10,15 »	0,1624 »	64,73 »
Nro. 4	10,35 »	0,0828 »	34,65 »
Nro. 5	10,15 »	0,0406 »	15,95 »

Die Zahlen der letzten Verticalreihe geben die Anziehung des Eiſens in den verſchiedenen Schmalzgemengen; es ſind die Gewichte, welche zum Abreißen des Uhrglaſes erforderlich ſind, vermindert um 0,25 Gramm, wobei, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, angenommen worden iſt, daß die Menge des diamagnetiſchen Schmalzes überall dieſelbe geblieben ſey.

Wir ſehen, daß auch hier die Anziehung ſehr nahe der Menge des metalliſchen Eiſens proportional iſt, welche in dem Innern des Uhrglaſes gleichförmig verbreitet iſt.

Nun ging Plücker zur Vergleichung des Magnetismus verſchiedener Subſtanzen über; ſie wurden theils in Löſung, theils in Pulverform in das Uhrglas gebracht und dann auf die angegebene Weiſe mit ihnen verfahren. Die Reſultate einer ſolchen Verſuchsreihe ſind in folgender Tabelle zuſammengeſtellt:

	A	*B*	*C*	*D*
Salpeterſ. Eiſenoxyd. — Löſung	14,55 gr.	1,212gr.	2,502gr.	2,064gr.
Salzſaures Eiſenoxyd »	16,475	2,213	8,240	3,723
Schwefelſ. Eiſenoxyd »	18,25	2,243	5,335	2,379
Salzſaures Eiſenoxydul »	16,535	2,825	7,095	2,501
Schwefelſ. Eiſenoxydul »	—	0,445	1,350	3,034
Schmalzmiſchung 50 : 1 »	8,225	0,161	82,370	510,740
Eiſenoxyd I. gepulvert	12,188	8,532	31,210	3,658
Eiſenoxyd II. »	14,825	10,377	21,690	2,090
Rotheiſenſtein »	28,55	19,985	19,596	0,981
Eiſenglanz »	33,72	23,604	91,755	3,887
Eiſenoxydhydrat »	16,50	8,750	13,238	1,513
Künſtlicher Blutſtein »	12,45	7,708	9,618	1,235
Schwefelarſen »	25,22	11,770	19,417	1,650
Nickeloxydul »	14,65	11,535	2,630	0,228
Nickeloxydulhydrat »	11,125	6,574	6,055	0,921
Schmalzmiſchung 25 : 1 . . .	10,850	—	210,866	—
1 Thl. Magneteiſenſtein 25 Thle. Schmalz	11,00	—	86,135	—
Manganoxydhydrat, gepulvert	23,901	—	8,470	—
Manganoxyd »	22,869	—	18,470	—

Die unter dem Strich ſtehenden Zahlen gehören einer anderen Verſuchsreihe an.

Die Columne unter *A* enthält das Gewicht der unterſuchten Subſtanz, unter *B* findet ſich das Gewicht des in der unterſuchten Maſſe enthaltenen Eiſens oder Nickels; die mit *C* überſchriebene Columne enthält die Größe der beobachteten magnetiſchen Anziehung. Dividirt man mit den Zahlen unter *B* in die unter *C* ſtehenden, ſo erhält man die letzte Verticalreihe, welche alſo angiebt, wie groß die Anziehung geweſen ſeyn würde, wenn bei gleichmäßiger Vertheilung im Innern des Uhrglaſes der Eiſen- (oder Nickel-) Gehalt der Subſtanz gerade 1 Gramm betragen hätte.

Wir ſehen daraus, daß bei gleichem Eiſengehalt die magnetiſche Anziehung verſchiedener Eiſenverbindungen ſehr verſchieden iſt, daß die magnetiſchen Eigenſchaften des Eiſens in den meiſten ſeiner Verbindungen außerordentlich geſchwächt erſcheinen. Bezeichnen wir die magnetiſche Anziehung

des metallischen Eisens mit 100,000, so ist die Anziehung, welche unter gleichen Umständen die gleiche Menge Eisen in verschiedenen Verbindungen erfährt, die folgende:

Eisen metallisch	100000
» im Oxyd I.	714
» » Oxyd II.	409
» » Rotheisenstein	191
» » Eisenglanz	761
» » Eisenoxydhydrat	296
» » Blutstein	240
» » Schwefelkies	321
» in der Lösung von salpeters. Eisenoxyd . . .	410
» » » » » salzsaurem » . . .	737
» » » » » schwefels. » . . .	474
» » » » » salzsaurem Eisenoxydul .	490
» » » » » schwefels. » . .	594

Die Ungleichheit der Zahlen, welche für die beiden Versuche mit Eisenoxyd erhalten wurden, rührt wohl daher, daß sie nicht ganz rein waren, daß namentlich das Oxyd Nro. 1 noch Oxydul enthielt.

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, wie sehr die magnetischen Eigenschaften des Eisens abnehmen, wenn dieses Metall mit anderen Körpern chemische Verbindungen eingeht.

Eine einzige Eisenverbindung zeigt einen stärkeren Magnetismus; bezeichnen wir den Magnetismus des Eisens mit 100,000, so ist der eines gleichen Gewichtes Magneteisenstein 40,227. Es ist dies der Magneteisenstein, eine Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul ($FeO + Fe_2O_3$). — Der starke Magnetismus dieser Verbindung rührt höchst wahrscheinlich daher, daß das Eisenoxydul in sehr hohem Grade magnetisch ist. Das Eisenoxydul selbst konnte Plücker bisher noch nicht untersuchen.

Eine auffallende Erscheinung ist es, daß das Nickeloxydulhydrat viel stärker magnetisch ist als das Nickeloxydul selbst.

In den Salzlösungen scheint durch das Hinzutreten der Säuren zu dem Oxyde der ursprüngliche Magnetismus des Oxyds nicht weiter geschwächt zu werden.

Die Versuche, welche Plücker anstellte, um die Stärke des Diamagnetismus verschiedener Substanzen zu vergleichen, gaben folgende Resultate:

Anziehung

des leeren Uhrglases mit Deckel und Messingring	0,49gr.
des Uhrglases gefüllt mit destillirtem Wasser . .	0,35
mit Alkohol	0,36
» Schwefeläther	0,36
» Lösung von gelbem Blutlaugensalz . . .	0,37
» » » rothem »	0,72
» Phosphor	0,24
» Schwefelblüthe	0,39
» Schwefelsäure	0,40
» geschlagenem Ochsenblut	0,32
» Quecksilber	0,05
» Schwefelkohlenstoff	0,31
» Salzsäure	0,33
» Salpetersäure	0,39
» Terpentinöl	0,34

Daraus ergiebt sich:

	Diamagnetische Abstoßung.	Diamagnetismus	
		bei gleichem Volum.	bei gleichem Gewicht.
Wasser	0,14gr.	100	100
Alkohol (0,813)	0,13	93	114
Schwefeläther	0,13	93	127
Schwefelkohlenstoff	0,18	129	102
Schwefelsäure	0,09	64	34
Salzsäure	0,16	114	102
Salpetersäure	0,10	71	48
Ochsenblut	0,17	122,5	—
Gefällte Lösung von gelb. Blutlaugensalz	0,12	86	70
Wismuthoxyd, gepulvert . . .	0,06	—	35
Schwefelblüthe	0,10	—	71
Terpentinöl	0,15	107	123
Quecksilber	0,44	314	23
Phosphor	0,25	172	100

Das gelbe Blutlaugensalz zeigte sich auch bei diesen Versuchen diamagnetisch, das rothe dagegen war, den früheren Versuchen entgegen, schwach magnetisch.

Endlich stellte Plücker nach derselben Methode auch Versuche an, um den Einfluß der Temperatur auf die Stärke des Magnetismus und Diamagnetismus zu ermitteln.

Das Uhrglas wurde durch eine halbkugelförmige Schale von Messingblech ersetzt, dieselbe zum Theil mit Sand gefüllt, ein kleines Stück Eisenblech horizontal auf denselben gelegt und dann noch eine 6 bis 8 Millimeter hohe Schicht Sand aufgeschüttet. — Die Schale mit ihrem Inhalte wurde über einem Kohlenfeuer erhitzt und dann das zum Abreißen nöthige Gewicht bestimmt; es betrug 153,7 Gramm. Während des Erkaltens nahm das zum Abreißen nöthige Gewicht allmälig zu; nach 25 Minuten betrug es 166,75 Gramm.

In ähnlicher Weise wurde Eisenoxyd in einer Porcellanschale untersucht. Während der Erkaltung von 300° auf 30° C. nahm die zum Abreißen nöthige Kraft von 52,01 Gramm bis 69,61 Gramm zu.

Auch Nickeloxyd ist bei höherer Temperatur schwächer magnetisch als bei niedriger; doch ist der Wachsthum des Magnetismus nicht der Temperaturabnahme proportional. Während die Temperatur von ungefähr 300° C. ausgehend sank, nahm der Magnetismus anfangs nicht merklich zu, erst bei größerer Temperaturerniedrigung begann eine raschere Zunahme des Magnetismus.

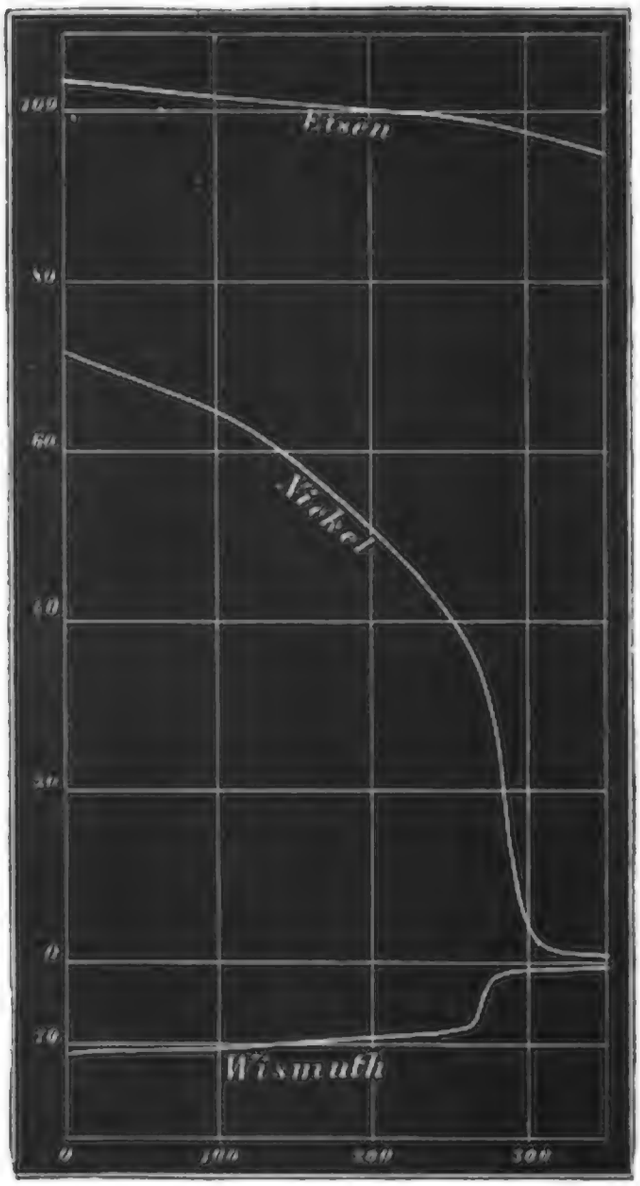
In ähnlicher Weise wurde auch der Einfluß der Temperatur auf die Stärke des Diamagnetismus geprüft. In derselben Messingschale, welche zu den Versuchen mit dem Messingblech gedient hatte, wurden 116 Gramm Wismuth geschmolzen und dasselbe über die Temperatur des Schmelzpunktes hinaus erwärmt. Bei dem ersten Versuche ergab sich die Stärke des Diamagnetismus gleich 0,28 Gramm; mit sinkender Temperatur nahm die Stärke des Diamagnetismus zu, und nach völliger Erkaltung war sie auf 1,67 Gramm gestiegen. Hiernach steht also fest, daß der Diamagnetismus des Wismuths mit steigender Temperatur abnimmt.

Versuche mit geschmolzenem Stearin und geschmolzenem Schwefel, deren Diamagnetismus gleichfalls während des Erkaltens bestimmt wurde, gaben das Resultat, daß der Diamagnetismus dieser Körper innerhalb der hier stattfindenden Temperaturgrenzen keine merklichen Veränderungen erleidet.

Auch beim Quecksilber zeigte sich keine merkliche Veränderung in der Stärke des Diamagnetismus, während derselbe von 121° C. bis auf 33° C. erkaltete.

Später hat Plücker noch eine genauere Verſuchsreihe über dieſen Gegenſtand angeſtellt (Pogg. Ann. LXXV, 177). Zur Beobachtung der Temperatur wurde ein Thermometer in das Schälchen gebracht. In Fig. 272 ſind die Reſultate der Verſuche für Eiſen, Nickel und Wismuth graphiſch dargeſtellt. — Die Abſciſſen ſind der Temperatur, die Ordinaten ſind der durch Gramme gemeſſenen Anziehung proportional, die negativen Ordinaten entſprechen der diamagnetiſchen Abſtoßung. — Das Eiſen wurde in Form eines dünnen Blechs in Sand dem Verſuche ausgeſetzt. Das Nickel war pulverförmig. Um die Kurve für Wismuth deutlich zu machen, ſind die Ordinaten für dies Metall in 10fachem Maaßſtab aufgetragen als für die anderen Metalle. Bei 311° betrug die diamagnetiſche Abſtoßung des Wismuths 0,055 Grm., bei 149° betrug ſie 0,995 Gramm.

Fig. 272.



274 **Veränderlichkeit des Verhaltens gemiſchter Körper mit den Veränderungen der magnetiſchen Kraft.** Kaum waren Faraday's Verſuche über Diamagnetismus auf dem Continent bekannt geworden, ſo unternahm auch Plücker eine Reihe von Experimentaluntersuchungen über dieſen Gegenſtand; er entdeckte alsbald höchſt merkwürdige Modificationen, welche die magnetiſchen und diamagnetiſchen Erſcheinungen in doppelt brechenden Kryſtallen erleiden, ſo wie die auffallende Thatſache, daß ein und derſelbe Körper ſich bald magnetiſch, bald diamagnetiſch verhalten kann, je nachdem er ſich zwiſchen ſehr genäherten oder weiter entfernten Polſpitzen befindet. Die beiden erſten Aufſätze Plücker's, welche über ſeine diamagnetiſchen Arbeiten handeln, befinden ſich in Pog-

gendorff's Annalen (LXXII, 315, 351). Das Wesentlichste ihres Inhaltes ist bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Bd., S. 692) mitgetheilt worden.

Das eben erwähnte Uebergehen aus dem diamagnetischen in das magnetische Verhalten, findet, wenn es nicht durch Krystallisationsverhältnisse bedingt ist, nur bei Körpern statt, welche aus diamagnetischen und magnetischen Substanzen gemacht sind.

Später zeigte Plücker (Pogg. Ann. LXXIII, 617), daß eine Verstärkung des Magnetismus in den Polspitzen dieselbe Wirkung habe wie eine Annäherung derselben. Ein Stückchen Buchsbaumkohle, welches sich bei größerer Entfernung der Pole magnetisch, bei geringem Abstande derselben aber diamagnetisch verhielt, wurde zwischen die Polspitzen gebracht und deren Abstand so regulirt, daß das Kohlenstückchen sich entschieden axial stellte, wenn der Elektromagnet durch den Strom eines einzigen Grove'schen Elementes erregt ward. Als statt dessen zwei Elemente angewandt wurden, war es schwer zu bestimmen, ob es sich magnetisch oder diamagnetisch verhalte; bei drei Elementen stellte es sich aber entschieden äquatorial, und die diamagnetische Kraft nahm bei noch größerer Stromstärke immer mehr zu.

Ein zweiter Versuch mit einem anderen Kohlenstückchen gab ein gleiches Resultat.

Durch die Zunahme der Kraft der Magnetpole wird also bei unveränderter Entfernung der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt.

Diese Versuche zeigen, daß, wenn ein Körper bei wachsender Entfernung der Pole aus der äquatorialen in die axiale Lage übergeht, die Entfernung nicht als solche, sondern nur insofern in Betracht kommt, als mit der Entfernung von den Polen die Kraft des Elektromagneten abnimmt, daß bei wachsender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetismus in rascherem Verhältniß zunimmt als der Magnetismus (Pogg. Ann. LXXIV, 363).

Es geht daraus hervor, daß man durch Mischung zweier Substanzen, von denen die eine magnetisch, die andere diamagnetisch ist, keinen Körper darstellen kann, der sich absolut indifferent gegen den Magneten verhält, weil, wenn für eine gewisse Magnetkraft beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten, der Diamagnetismus bei wachsender, der Magnetismus bei abnehmender Kraft der Magnetpole zum Uebergewicht kommen wird.

Daß bei wachsender Kraft des Elektromagneten der Diamagnetismus in rascherem Verhältniß zunimmt als der Magnetismus, hat Plücker auch durch directe Messung dargethan. Als der Reihe nach der Elektro-

magnet durch 2, durch 3 und durch 10 Tröge erregt wurde, ergab ſich die Anziehung der bereits oben beſprochenen Meſſingſchale gleich

$$0{,}69^{gr.} \quad — \quad 1{,}13^{gr.} \quad — \quad 2{,}15^{gr.}$$

Es wurde nun ein $115^{gr.}$ ſchweres Stück Wismuth in die Schale gelegt und nun war die Anziehung

$$0{,}53^{gr.} \quad — \quad 0{,}71^{gr.} \quad — \quad 0{,}48^{gr.},$$

wonach ſich für den Diamagnetismus des Wismuths

$$0{,}14^{gr.} \quad — \quad 0{,}42^{gr.} \quad — \quad 1{,}67^{gr.}$$

ergiebt; während alſo durch Steigerung der Kraft der Magnetpole der Magnetismus der Schale in Verhältniß von 1 zu 3 wuchs, iſt der Diamagnetismus des Wismuths um mehr als zehnmal ſtärker geworden.

Sehr ſchön wird der obige Satz auch durch folgende Verſuchsreihen Plücker's bewieſen (Pogg. Ann. LXXV, 417): Das ſchon früher beſprochene Uhrglas, welches, wie wir wiſſen, mit ſeinem Meſſingringe ſchwach magnetiſch iſt, wurde in gewohnter Weiſe über die genäherten Pole an den einen Arm der Wage angehängt und ein abgerundetes Stück Wismuth hineingelegt. Die Wage wurde nun durch Tariren ins Gleichgewicht gebracht. — Der Wagebalken konnte nach Belieben gehoben oder geſenkt werden, ſo daß, ohne ihn aus ſeiner Gleichgewichtslage herauszubringen, die Entfernung des Uhrglaſes von den Polen vergrößert und verkleinert werden konnte. Es wurde nun bei verſchiedener Entfernung des Uhrglaſes und bei verſchiedener Stromſtärke die Anziehung oder Abſtoßung des Uhrglaſes ſammt ſeinem Inhalt von Wismuth in der Weiſe beobachtet, daß man ermittelte, um wie viel Millimeter daſſelbe durch die Einwirkung der Magnetpole aus ſeiner Gleichgewichtslage heraus gehoben oder geſenkt werde; es ergaben ſich dabei folgende Reſultate:

I. Bei Berührung der Anker durch das Uhrglas.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	$5{,}0^{mm}$
» » »	2	»	0,5
» » »	1	»	keine merkliche Wirkung.

II. Das Uhrglas $1{,}5^{mm}$ über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	$3{,}5^{mm}$
» » »	4	»	2,25
» » »	3	»	1,5
» » »	2	»	0,5
» » »	1	Anziehung:	1,0

III. Das Uhrglas $3{,}5^{mm}$ über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Abſtoßung:	$1{,}0^{mm}$
» » »	4	Anziehung:	1,0
» » »	1	»	3,0

IV. Das Uhrglas 5,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Anziehung:	3,0^{mm}
» » »	1	»	3,25

V. Das Uhrglas 8,5^{mm} über den Ankern.

Anzahl der Tröge:	8	Anziehung:	5,0^{mm}
» » »	1	»	ebenso.

E. Becquerel bestreitet, daß die Zunahme des Diamagnetismus in einem anderen Verhältniß zum Wachsthum der Stromstärke stehe als die des Magnetismus; er stützt sich dabei auf folgende Versuche (Ann. de Chim. et de Phys. sér. III. tom. XXVIII, 301).

Auf die Pole seines großen Elektromagneten waren prismatische Stücke von weichem Eisen aufgelegt, deren obere Fläche ein längliches Rechteck von 3 Centimeter Breite bildet; auf diese Flächen sind zwei Stäbchen *D* von weichem Eisen aufgelegt, welche 3 Centimeter hoch und eben so breit sind, und die sich einander gegenüber stehen, wie man Fig. 273 sieht. Zwischen den zugekehrten Enden dieser Eisenstäbchen hängt an einem feinen Silberfaden ein Stäbchen der zu untersuchenden Substanz, z. B. ein Wismuthstäbchen von 25^{mm} Länge und 3^{mm} Durchmesser. Der Silberfaden ist oben an einer Torsionsvorrichtung angebracht, durch welche das Stäbchen *ab* in die Fig. 273 bezeichnete Lage gebracht werden kann, während der Strom nicht durch die Windungen des Elektromagneten geht. In dieser Stellung kann das Stäbchen durch ein seitlich angebrachtes Mikroskop *m* beobachtet werden. Nun wird der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, das Stäbchen wird abgestoßen und man muß die Torsionsvorrichtung um eine gewisse Anzahl von Graden drehen, um das Stäbchen wieder in seine vorige Lage zurückzubringen. Die Drehung des Fadens ist nun ein Maaß für die Stärke der Abstoßung. Mit einer Wismuthstange machte Becquerel diese Messung bei verschiedenen Stromstärken, welche an einer Sinusbussole gemessen wurden. Es ergaben sich folgende Resultate, wobei zu bemerken ist, daß das Wismuthstäbchen nicht in Luft, sondern in Wasser hing.

Fig. 273.

Abstoßung des Wismuths = m.	Ablenkung der Sinusbussole = i.	$\sin. i^2$.	$\frac{m}{\sin. i^2}$.
312,1°	40° 2′	0,4138	754
107,35	21 52	0,1387	774
32,1	11 45	0,0415	774

Man sieht aus dieser Tabelle, daß sich die Abstoßung des Wismuths verhält wie das Quadrat der Stromstärke. Da nun bekanntlich (wenigstens bis zu gewissen Grenzen) die Anziehung eines Eisenstabes durch einen Magneten ebenfalls dem Quadrate der magnetischen Kraft der Pole proportional ist, so schließt Becquerel, daß der Magnetismus und der Diamagnetismus in gleicher Weise von der Stärke der Magnetpole abhängen, daß sie also bei wachsender Stromstärke stets in gleichem Verhältniß zunehmen müssen.

Gleiche Resultate erhielt Becquerel auch mit einem Schwefelstäbchen.

Die Zuverlässigkeit der Versuche Becquerel's ist wohl kaum in Zweifel zu ziehen, allein eben so wenig liegen Gründe vor, die Plücker'schen Resultate für unrichtig zu halten. Der scheinbare Widerspruch läßt sich wohl auf folgende Weise lösen.

Durch meine Versuche über die Gesetze des Elektromagnetismus habe ich dargethan, daß eine jede Eisenmasse nur bis zu einem bestimmten Maximum magnetisirt werden kann. Je größer die Masse des zu magnetisirenden Eisens ist, desto größere magnetisirende Kräfte sind nöthig, um diesem Maximum nahe zu kommen; kleine Eisenmassen können dagegen schon durch geringe magnetisirende Kräfte ihrem magnetischen Maximum nahe gebracht werden, und in diesem Falle wird natürlich auch eine bedeutende Verstärkung der magnetisirenden Kraft kaum eine merkliche Vermehrung des Magnetismus in den kleinen Eisenmassen zur Folge haben. — Bedenken wir nun, welche geringe Massen magnetischer Substanzen in den Körpern vertheilt sind, mit welchen Plücker experimentirte, so dürfen wir wohl annehmen, daß dieselben schon bei geringerer Stromstärke nahe bis zu ihrem Maximum magnetisirt sind, daß also die Variationen der Stromstärke keinen bedeutenden Einfluß mehr auf sie ausüben können, während die ungleich größere Masse der diamagnetischen Substanzen noch viel weiter von ihrem Maximum diamagnetischer Erregung entfernt sind, weshalb denn auch der Diamagnetismus der Substanz noch mehr zu der Stromstärke proportional wachsen kann.

275 **Einfluß der Umgebung auf magnetische und diamagnetische Wirkungen.** Schon Faraday hat nachgewiesen, daß das Verhalten eines Körpers zwischen den Magnetpolen wesentlich davon abhängt, in welches Fluidum er eingetaucht ist; ein Körper, welcher sich in Luft axial stellt, kann unter Umständen in einer Lösung von Eisenvitriol die äquatoriale Stellung annehmen. Becquerel theilt in der eben besprochenen Abhandlung auch eine Reihe hieher gehöriger Versuche mit; er bestimmte nämlich mittelst der Drehwage die Abstoßung irgend eines diamagnetischen Stäbchens, wenn es in verschiedene Flüssigkeiten eingetaucht ist. Mit einem Schwefelstäbchen von 25^{mm} Länge erhielt er folgende Resultate:

Abstoßung des Schwefelstäbchens			Ablenkung der Sinusbouſſole.
in Luft	—	37°	. . . 39°
» Waſſer	—	4	. . . 40
» Löſung von Chlormagneſium	+	2,5	. . . 38
» conc. Löſung von Eiſenchlorür	—	1844	. . . 36
» Löſung v. ſchwefelſ. Nickeloxyd	—	41	. . . 23

Die abſtoßende Kraft iſt durch die Drehung des Silberfadens gemeſſen; das Zeichen — bezeichnet Abſtoßung, + dagegen bezeichnet Anziehung.

Das Geſetz der Modification, welches die magnetiſche Anziehung oder Abſtoßung durch das Fluidum erleidet, in welches der zu prüfende Körper eingetaucht iſt, wird von Plücker in folgender Weiſe formulirt (Pogg. Ann. LXXVII, 580):

Die Anziehung eines magnetiſchen Körpers, der in eine magnetiſche oder diamagnetiſche Flüſſigkeit eingetaucht wird, nimmt gerade ſo viel ab oder zu, als die magnetiſche Anziehung oder Abſtoßung der aus der Stelle vertriebenen Flüſſigkeit vor dem Entweichen betrug. Die Abſtoßung eines in dieſelbe Flüſſigkeit eingetauchten diamagnetiſchen Körpers nimmt gerade um ſo viel zu oder ab, als die magnetiſche Anziehung oder diamagnetiſche Abſtoßung der aus der Stelle vertriebenen Flüſſigkeit betrug.

Zur Beſtätigung dieſes Verhaltens führt Plücker noch den folgenden Verſuch an, daß ein gegen den Magneten wenig empfindliches Aräometer (z. B. ein ſolches, welches mit einer dünnen, zum Theil mit Queckſilber gefüllten Glaskugel gebildet iſt) entſchieden ſteigt oder ſinkt, wenn es in eine Löſung von Eiſenchlorid oder Eiſenvitriol oberhalb oder unterhalb der beiden genäherten Pole eines ſtarken Elektromagneten gebracht wird. Eine entgegengeſetzte Wirkung tritt in diamagnetiſchen Flüſſigkeiten ein.

Becquerel gelangt nun, auf dieſe Erſcheinungen bauend, zu einer eigenthümlichen Theorie des Diamagnetismus. Er läßt den Diamagnetismus als ſolchen gar nicht mehr gelten, ſondern nimmt an, daß alle Körper nur in ungleichem Maaße magnetiſch ſind; die Abſtoßung eines Körpers durch einen Magnetpol erfolgt dann, wenn er von einem noch ſtärker magnetiſchen Mittel umgeben iſt. Da nun aber ein Wismuthſtäbchen ſelbſt im Vacuum noch von den Magnetpolen abgeſtoßen wird, ſo iſt er zu der kühnen Hypotheſe genöthigt, daß das Vacuum wenigſtens noch ſtärker magnetiſch ſey als das Wismuth!!

Ich zweifle daran, daß dieſe Theorie viel Beifall unter den Phyſikern finden wird.

276 **Einfluß der Kryſtalliſation auf die diamagnetiſchen Erſcheinungen.** Die erſten hierher gehörigen Beobachtungen wurden von Plücker gemacht; ſie ſind der Hauptſache nach bereits in der 3ten Auflage meines Lehrbuchs der Phyſik (2ter Bd. S. 692) mitgetheilt worden; wir wollen hier nur noch die weitere Entwickelung des Gegenſtandes verfolgen.

An die erſten Beobachtungen Plücker's ſchließen ſich zunächſt die Unterſuchungen Faraday's über das Verhalten des kryſtalliſirten Wismuths an (Pogg. Ann. LXXVI, 144; Phil. Magaz. 1849. Jan. pag. 75). Er hatte an Wismuthſtäbchen, welche durch Gießen in Glasröhren gemacht worden waren, anomale Erſcheinungen wahrgenommen, welche er dem kryſtalliniſchen Zuſtande derſelben zuſchreiben zu müſſen glaubte.

Dies veranlaßte Faraday, Verſuche mit gut kryſtalliſirten Wismuthſtücken anzuſtellen, und es ergab ſich dabei, daß die Hauptſpaltungsrichtung ſich ſtets äquatorial zu ſtellen ſtrebt.

Nach Roſe's neueren Unterſuchungen gehört das Wismuth dem hexagonalen Kryſtallſyſtem an; was man früher für einen Würfel nahm, iſt ein Rhomboeder; unter den verſchiedenen Spaltungsrichtungen iſt eine beſonders ausgezeichnet und dieſe ſteht auf der kryſtallographiſchen Hauptaxe des Rhomboeders rechtwinklig. Nach Faraday's Verſuchen hat alſo die kryſtallographiſche Hauptaxe des Wismuthrhomboeders ein Streben, ſich axial zwiſchen die beiden Pole des Elektromagneten zu ſtellen. Dieſes Beſtreben macht ſich in der Weiſe geltend, daß eine Säule von kryſtalliſirtem Wismuth, deren Hauptſpaltungsfläche mit ihrer Baſis zuſammenfällt, ſich ſelbſt bei entſchieden vorherrſchenden Längendimenſionen axial ſtellt.

Faraday nennt die Richtung des kryſtalliſirten Wismuths, welche ſich axial zu ſtellen ſtrebt, die Magnekryſtallaxe.

Aehnliche Erſcheinungen beobachtete er beim kryſtalliſirten Antimon, Arſen u. ſ. w.

Plücker wiederholte dieſe Verſuche mit gleichem Erfolge (Pogg. Ann. LXXVI, 576).

Kryſtalle des regulären Syſtems haben keine von den anderen ausgezeichnete Spaltungsrichtung, bei ihnen kann ſich alſo auch keine Erſcheinung der Art zeigen, wie wir ſie oben betrachtet haben.

Plücker ließ geſchmolzenes Wismuth langſam zwiſchen den Magnetpolen kryſtalliſiren. Nach dem Erſtarren zeigte ſich, daß die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit entſchieden vorherrſchend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Eine Holzkohle wurde ſo ausgehöhlt, daß der innere Raum ungefähr 6^{mm} Durchmeſſer hatte und doppelt ſo lang war. In dieſe Höhlung wurde geſchmolzenes Wismuth gegoſſen, welches ungefähr nach einer Minute erſtarrte. Befand ſich das Wismuth während des Erſtarrens außer dem

Bereiche des Magneten, so zeigte das aus demselben gebildete Stäbchen später keine magnekrystallische Wirkung, es verhielt sich rein diamagnetisch und stellte sich äquatorial. War aber die Kohle so zwischen die Magnetpole gestellt, daß das Wismuthstäbchen während seiner Erkaltung eine axiale Stellung hatte, so stellte es sich später an einem Seidenfaden aufgehängt gleichfalls axial. Es geht daraus hervor, daß eine Wismuthmasse, welche zwischen den Magnetpolen erstarrt ist, später an einem Faden aufgehängt, zwischen den Polen wieder dieselbe Stellung einzunehmen strebt, welche es während des Erkaltens hatte.

Theoretische Ansichten über das Verhalten der Krystalle zwischen Magnetpolen. 277 Nachdem Plücker das eigenthümliche Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen entdeckt hatte, suchte er es alsbald durch eine Einwirkung der Magnetpole auf die optischen Axen zu erklären.

In einem Briefe an Faraday formulirte Plücker das opto-magnetische Gesetz in folgender Weise: »Die optischen Axen werden durch die »Pole eines Magneten entweder abgestoßen oder angezogen, je nach »dem krystallinischen Gefüge der Krystalle. Ist der Krystall ein negativer, »so findet Abstoßung statt; ist er dagegen ein positiver, so erfolgt »Anziehung« (Phil. Mag. Vol. XXXIV, pag. 450. Pogg. Annalen LXXVII, 447).

Gegen diese Theorie sind nun Knoblauch und Tyndall aufgetreten (Pogg. Ann. LXXIX, 233. Phil. Mag. XXXVI, 178). Zunächst führen sie einige Erscheinungen an, welche mit Plücker's Ansicht unvereinbar sind.

Aus 11 parallel mit der Axe geschliffenen Kalkspathplatten wurden kreisrunde Scheiben gemacht und diese horizontal aufgehangen. Zwischen den Polen des Elektromagneten stellten sich fünf dieser Platten so, daß die optische Axe in der That die äquatoriale Lage annahm; bei den übrigen sechs Platten dagegen stellte sich, der Plücker'schen Ansicht entgegen, die optische Axe entschieden axial.

Um zu erfahren, ob die Masse dieser Krystalle magnetisch oder diamagnetisch sey, wurden sie gepulvert und aus dem nassen Pulver cylindrische Stäbchen geformt. Nachdem diese wieder getrocknet waren, zeigten sich diejenigen, welche aus den fünf ersten Krystallen gebildet waren, diamagnetisch, die sechs anderen Stäbchen dagegen stellten sich axial, sie waren also magnetisch.

Am Schlusse ihrer Abhandlung sprechen nun Knoblauch und Tyndall ihre Ansicht dahin aus, daß die von ihnen am Kalkspath beobachteten Erscheinungen sich darauf zurückführen lassen, daß die diamagnetischen

Exemplare in der Spaltungsrichtung ſchwächer diamagnetiſch, die magnetiſchen in jener Richtung ſchwächer magnetiſch ſind.

Unterdeſſen hat jedoch Plücker ſelbſt ſeine Anſicht in zwei Abhandlungen modificirt, von denen die eine als Univerſitätsprogramm im Auguſt 1849 erſchien, während die zweite im December deſſelben Jahres der königl. niederländiſchen Societät übergeben wurde. — Auch ſeine Experimentalunterſuchungen hat Plücker in Gemeinſchaft mit Beer fortgeſetzt, und in einem Aufſatze »über die magnetiſchen Axen der Kryſtalle« (Pogg. Ann. LXXXI, 115) veröffentlicht. Der theoretiſche Standpunkt, welchen Plücker in dieſer Abhandlung einnimmt, iſt durch folgende Stelle bezeichnet:

»Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinſte »Theilchen eines Kryſtalles polar magnetiſch oder polar diamagnetiſch. Aber »die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction, nach »einer veränderlichen Richtung, die bloß nach der Lage der Pole beſtimmt »wird, ſondern je nach der Kryſtallform nach einer oder mehr als einer »feſten Richtung. Solche Richtungen, die in dem Kryſtalle durch die Form »derſelben gegeben ſind, habe ich die magnetiſchen Axen des Kryſtalls »genannt.«

Kryſtalle des regulären Syſtems haben keine ſolche magnetiſche Axe.

Die optiſch einaxigen Kryſtalle haben eine magnetiſche Axe, welche mit der kryſtallographiſchen Hauptaxe (alſo auch mit der optiſchen) zuſammenfällt. Stellt ſich die magnetiſche Axe zwiſchen den Magnetpolen axial, ſo nennt Plücker den Kryſtall magnetiſch poſitiv; er nennt ihn magnetiſch negativ, wenn ſich die magnetiſche Axe zwiſchen den Magnetpolen äquatorial ſtellt.

Wenn aus einem magnetiſch einaxigen Kryſtall ein Cylinder gebildet iſt, deſſen Axe mit der magnetiſchen Axe zuſammenfällt, und wenn er dann ſo aufgehängt iſt, daß die magnetiſche Axe vertical ſteht, alſo die Umdrehungsaxe bildet, ſo zeigt der Kryſtall kein Beſtreben mehr, ſich zu richten. — Anders bei den optiſch zweiaxigen Kryſtallen; werden ſie ſo aufgehängt, daß eine der drei Fresnel'ſchen Elaſticitätsaxen die verticale Umdrehungsaxe bildet, ſo ſtellt ſich der Kryſtall ſo, daß eine der beiden übrigen Elaſticitätsaxen eine axiale, die andere eine äquatoriale Lage annimmt. Plücker erklärt dies durch die Annahme von zwei magnetiſchen Axen, welche ähnlich liegen wie die optiſchen Axen, und welche entweder angezogen oder abgeſtoßen werden, wonach dann die magnetiſch zweiaxigen Kryſtalle ebenfalls in poſitive und negative zu theilen ſind.

In demſelben Bande von Poggendorff's Annalen, welcher den eben beſprochenen Aufſatz Plücker's enthält, finden wir aber auch eine neue Arbeit von Knoblauch und Tyndall, welche den Gegenſtand in ihrer Richtung weiter verfolgt haben (Pogg. Ann. LXXXI, 481).

Zunächst führen sie einige Beobachtungen an, welche der Annahme Plücker's widersprechen, welche derselbe auch noch in seinem letzten Aufsatze noch zu behaupten scheint, daß ein optisch positiver Krystall auch magnetisch positiv, ein optisch negativer auch magnetisch negativ sey. — Das gelbe Blutlaugensalz z. B. ist optisch positiv; seine optische Axe (oder wenn man es als zweiaxig betrachtet, die Mittellinie der beiden sehr nahe zusammenfallenden Axen) wird äquatorial gestellt.

Ganz eisenfreier Kalkspath ist diamagnetisch, die Richtung seiner optischen Axe wird äquatorial gestellt. — Enthält aber der Krystall etwas isomorphes kohlensaures Eisenoxydul, so stellt sich die optische Axe axial, und dies um so stärker, je bedeutender der Gehalt an magnetischer Substanz wird. Mit sehr großer Kraft stellt sich die Axe des Rhomboeders von Spatheisenstein axial, in welchem die diamagnetischen Bestandtheile gegen das kohlensaure Eisenoxydul fast ganz verschwinden. Noch weit kräftiger findet diese axiale Einstellung der Rhomboederaxe beim Eisenglanz statt, indem der nach Oeffnen der Kette in den Magnetpolen zurückbleibende Magnetismus hinreicht, diese Einstellung zu bewirken.

Knoblauch schließt daraus: daß diejenige Linie, welche bei einem rein diamagnetischen Krystall zwischen den Polen die äquatoriale Lage annimmt, mit desto größerer Kraft in die axiale Stellung gedreht wird, je mehr die diamagnetischen Bestandtheile des Krystalls durch isomorphe magnetische ersetzt werden; und ferner:

daß dieselbe Richtung, welche in einem rein diamagnetischen Krystall sich senkrecht auf die Verbindungslinie der Magnetpole einstellt, sich bei einem rein magnetischen Körper von gleicher krystallinischer Structur den Polen zuwendet.

Um über die Art und Weise der magnetischen Wirkung in allen diesen Fällen eine Vorstellung zu gewinnen, wurden folgende Versuche angestellt:

Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetischen Körpers, z. B. aus Mehl, mit Hülfe von etwas Gummiwasser ein vierkantiger Stab gebildet, so stellt sich dieser zwischen den Magnetpolen natürlich so, daß die Längenaxe äquatorial steht. Drückt man ihn in der Richtung seiner größeren Ausdehnung so weit zusammen, daß das Parallelepiped in einen Würfel übergeht, so stellt sich dieselbe Richtung, welche vorher äquatorial war, wieder nach derselben Richtung. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Zusammendrückung in demselben Sinne wie zuvor so weit fortgesetzt worden, daß aus dem Würfel eine dünne Platte entstanden ist, so daß also die Ebene der Platte axial steht. Es tritt hier die Erscheinung auf, daß eine rein diamagnetische unkrystallinische Scheibe, deren jedes

Theilchen vom Magneten abgestoßen wird, sich zwischen den Polen axial stellt. Diese Erscheinung erklärt sich durch die Annahme, daß die diamagnetische Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die materiellen Theile des Körpers einander näher gerückt worden sind, größer ist.

Ein nicht comprimirter Würfel derselben Substanz zeigte keine richtende Kraft.

Wurde dem Mehle fein gepulvertes kohlensaures Eisenoxydul beigemischt, so stellte sich ein aus dem Gemenge gebildeter Stab axial. Drückte man ihn auf die angegebene Weise zusammen, so nahm die entstehende Platte eine äquatoriale Lage an, die Richtung der Compression blieb also axial. Derselbe Versuch ließ sich mit reinem kohlensauren Eisenoxydul anstellen. Wir sehen hier den Fall eintreten, daß eine magnetische Scheibe, deren Masse durchweg vom Magneten angezogen wird, sich äquatorial stellt. Die Erscheinung beruht einfach darauf, daß die magnetische Wirkung in derjenigen Richtung, in welcher die Theile einander genähert wurden, verstärkt worden ist.

Daraus läßt sich schließen, daß überhaupt in diamagnetischen wie in magnetischen Körpern, deren Theile nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abstehen, die (diamagnetische oder magnetische) Wirkung, welche sich an ihnen zwischen den Polen kund giebt, immer in der Richtung am stärksten ist, in welcher die materiellen Theile am nächsten bei einander sind.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, verfertigten Knoblauch und Tyndall aus einem Pulver von chemisch reiner kohlensaurer Kalkerde, dem als Bindemittel etwas Gummiwasser hinzugefügt, und das (während des Trocknens) in einem Schraubstock nach einer Richtung stark zusammengepreßt worden war, ein Rhomboeder von der Form des Kalkspathes mit der Rücksicht, daß die Axe dieses Rhomboeders mit derjenigen Richtung zusammenfiel, in welcher die Theile des kohlensauren Kalkes beim Zusammendrücken einander genähert worden waren.

Ein solcher verhielt sich nun zwischen den Magnetpolen in allen Beziehungen genau eben so, wie ein diamagnetisches Kalkspathrhomboeder.

Bei den Krystallen der drei letzten Krystallsysteme lassen sich die Erscheinungen, welche dieselben zwischen den Magnetpolen darbieten, durch die Annahme erklären, daß in ihnen die (magnetische oder diamagnetische) Wirkung nach einer Richtung hin ein Maximum, nach einer zweiten aber ein Minimum ist, während nach der auf diesen beiden senkrechten Richtung die Wirkung zwischen diesen beiden Extremen liegt. — Knoblauch und Tyndall ahmten die magnetischen Erscheinungen optisch zweiaxiger Krystalle dadurch nach, daß sie einen Teig von Wismuthpulver zwischen

Glasplatten in zwei auf einander ſenkrechten Richtungen mit ungleicher Kraft preßten.

Am Schluſſe dieſer Abhandlung bemerken Knoblauch und Tyndall, daß ihnen die neueſte Plücker'ſche Abhandlung erſt zu Geſicht kam, als ſie im Begriff ſtanden, die ihrige abzuſenden. Sie behalten ſich vor, die von den ihrigen abweichenden Anſichten von Plücker und Beer bei einer ſpäteren Gelegenheit zu beſprechen.

Die Acten über dieſen intereſſanten Gegenſtand ſind alſo noch keineswegs geſchloſſen, und deshalb läßt ſich auch noch kein definitives Urtheil über die einander entgegen tretenden Theorien fällen, obgleich ich nicht verhehlen kann, daß mir die Anſichten Knoblauch's ſchon ihrer größeren Einfachheit wegen einen Vorzug zu verdienen ſcheinen.

Zehnter Abschnitt.

Thierische Elektricität.

Einleitung.

278 Auf dem Gebiete der thierischen Elektricität hat unsere Erkenntniß sehr bedeutende Fortschritte gemacht. Unter allen denen aber, welche diesen Gegenstand bearbeitet haben, ist sicher Du Bois-Reymond derjenige, welcher das Bedeutendste geleistet und die Wissenschaft mit den gediegensten Errungenschaften bereichert hat. Nicht allein eine Menge der wichtigsten Thatsachen hat er entdeckt, sondern auch, mit kritischem Scharfblick den Zusammenhang der Erscheinungen verfolgend, präcise Gesetze da nachgewiesen, wo bisher die größte Verwirrung herrschte.

Du Bois hat die Resultate seiner Jahre lang fortgesetzten Untersuchungen in einem Werke niedergelegt, welches zu Berlin unter dem Titel »Untersuchungen über thierische Elektricität« in den Jahren 1848 und 1849 erschienen ist. Leider ist es noch nicht vollendet, indem bis jetzt nur der erste Band und die erste Hälfte des zweiten vorliegt.

Dies Werk macht uns vollständig mit den neueren Fortschritten der Elektrophysiologie bekannt, indem es außer den eigenen Untersuchungen des Verfassers auch die Arbeiten anderer Gelehrten auf diesem Felde ausführlich bespricht; wenn ich also im Folgenden das Wesentlichste seines Inhaltes berichte, so dürfte wohl damit der Zweck unsers Berichtes vollständig erreicht seyn.

Du Bois schickt seinen eigenen Untersuchungen eine historische Einleitung voraus, in welcher er bis auf die ersten Untersuchungen Galvani's zurückgeht, was um so zweckmäßiger ist, als die Geschichte jener für die Elektricitätslehre so wichtigen Epochen bisher meist einseitig im Sinne des Voltaismus dargestellt wurde, dann aber auch weil durch die im

Jahre 1841 durch das Institut von Bologna erfolgte Herausgabe der „Opere edite ed inedite del Professore Luigi Galvani etc.“ neue, für diese Angelegenheit wichtige Documente bekannt geworden sind.

Wer diese Einleitung gelesen hat, wird das Buch schwerlich ohne Befriedigung aus der Hand legen. Du Bois hat mit dem größten Fleiße die Quellen studirt und berichtet mit lobenswerther Gewissenhaftigkeit; dabei ist das Bild, welches er vor dem Leser von jener für die Physik so denkwürdigen Zeit entfaltet, eben so lebendig und anziehend gemalt, wie es wahr und scharf gezeichnet ist.

Ich kann es mir nicht versagen, hier eine Stelle wörtlich anzuführen, in welcher das Verhältniß Galvani's und Volta's zu der sich neu entwickelnden Lehre sehr schön geschildert wird.

»Niemand, der Galvani's Schriften gelesen hat, wird ohne Ehr»furcht von dem schlichten Bilde des Mannes scheiden, dessen rastlosem, »wenngleich dunklem Streben und naiver Wißbegier solche Früchte zu »tragen beschieden war. Jeder wird ihn gern entschuldigen, daß er den »Weg eingeschlagen hat, den wir ihn alsbald werden gehen sehen. Der »von ihm entdeckte Thatbestand war einer Gleichung von zweien Unbe»kannten zu vergleichen, deren eine das jetzige, durch Volta geschaffene »Gebiet des Galvanismus, die andere aber wirklich die thierische Elek»tricität war, welche nunmehr, nach einem halben Jahrhundert ihr Recht »fordernd, abermals in die Schranken tritt. In der That, Galvani »hat, wie den physiologischen Grundversuch des eigentlichen Galvanismus, »so den der elektrischen Muskel- und Nervenphysik entdeckt: den ersten »wie den letzten noch dazu gehüllt in ein Chaos von Bedingungen, wo»durch die Erfolge in beiden Fällen als gleich wesentlich abhängig von den »thierischen Theilen selbst dargestellt wurden. Anatom und Physiolog »vom Fach, erfüllt von der damals geläufigen Vorstellung einer thieri»schen Elektricität, die er sogar im anatomischen Theater seinen Zuhörern »vortrug, war es kein Wunder, wenn er das dargebotene Räthsel vorzugs»weise von dieser Seite anzugreifen suchte, an welche sich bereits ein rei»ches Gebiet des Verständnisses anzuknüpfen schien. Allein auch Volta »schwärmte für denselben Gedanken; durch die vielen Enttäuschungen, die »in dieser Beziehung bereits stattgefunden hatten, mißtrauisch gemacht, »ging er, nach seinem eigenen Ausdruck, so wie er nur die neuen Wunder »selbst mit Händen gegriffen hatte, vom Unglauben zum Fanatismus »über. Dies verhinderte ihn jedoch nicht, die glänzenden Aussichten, die »sich durch Galvani's Entdeckungen für die Muskel- und Nervenphysik »eröffnet zu haben schienen, unbedenklich fahren zu lassen, als er, dem »damaligen Thatbestande gegenüber, das Unhaltbare derselben entdeckt zu »haben glaubte. Niemand, der mit unpartheiischem Blick jene Geschichte

»und das Verdienst ihrer Häupter zu würdigen wünscht, wird es wagen, »Galvani und Volta auf eine Stufe zu stellen und die riesenhafte »Ueberlegenheit dieses Physikers über alle seine Mitarbeiter und Gegner, »insbesondere über die Bologneser Schule, einen Augenblick zu verken»nen. Nicht leicht möchte sich in einer Natur wieder dieser Reichthum »an unvergleichlichen Forschergaben vereinigt finden, wie in Volta's: »dieses, um mit Dove zu reden, »»unbegreifliche Talent,«« das »Wesentliche vom Unwesentlichen in einer verwickelten Erscheinung zu »befreien; diese Kühnheit der Erfindung, welche dem Versuch vorangeht, »gebändigt durch die strengste und umsichtigste Methode; dieser unablässig »rege Sinn des Beobachters, dem kein Umstand entschlüpft; endlich ne»ben so viel Feinheit so viel Einfalt und Großartigkeit der Anschauung, »neben solchem Denkerkopfe so die Hand des Mechanikers. Seltsam ist »es nur, daß es eine deutsche Stimme seyn muß, welche über die Alpen »hinüber einen italiänischen Gelehrten wegen Verunglimpfung der Größe »Volta's zur Ordnung ruft.«

Hier ist Gherardi gemeint, welcher größtentheils die Redaction der oben erwähnten Sammlung von Galvani's Werken besorgte und welcher sich in einem vorausgeschickten »Rapporto« bemüht, Galvani um jeden Preis, selbst auf Kosten Volta's, als eine der bedeutendsten und hervorragendsten Persönlichkeiten geltend zu machen.

Nachdem Galvani an einem präparirten Frosch den Rückschlag beobachtet hatte, welchen ein aus dem Conductor der Elektrisirmaschine gezogener Funke hervorbringt, untersuchte er den Rückschlag durch den Blitz. Diese Versuche beschäftigten ihn während des Sommers 1786. Im Herbste desselben Jahres suchte er die Wirkung der atmosphärischen Elektricität bei nicht gewitterndem Himmel auf die präparirten Schenkel zu ermitteln. Es war am Abend des 20. Septembers, daß Galvani jene folgereiche Beobachtung von Zuckungen machte, welche den Ausgangspunkt für die neuere Elektricitätslehre bildet.

Diese Versuche und die daran geknüpften Folgerungen veröffentlichte Galvani erst im Jahre 1791 in seiner berühmten Schrift: »De viribus Electricitatis in motu musculari Commentarius.« In diesem Commentar wird der Versuch als mit kupfernen (aereus) Haken angestellt angegeben, während sich in Galvani's hinterlassenen Papieren der Entwurf einer Abhandlung befindet, gezeichnet vom 30. October 1786, in welchem nur von eisernen Haken die Rede ist. Dies rührt wohl unstreitig daher, daß Galvani im Lauf der Versuche die Ueberlegenheit des ungleichartigen Metallbogens kennen gelernt hatte und daß er wünschte, etwaigen Wiederholungen seines ersten Versuchs in der ursprünglichen Gestalt die möglichste Sicherheit zu geben.

Auf dem Umschlag der Tagebücher, die seine ersten galvanischen Versuche vom September 1786 enthalten, findet man von Galvani's eigener Hand die Aufschrift: »Esperimenti circa l'Electricitate de' metalli.« Er hatte also anfangs eine richtigere Vorstellung über die Quelle der Elektricität, welche die von ihm entdeckte Zuckung hervorbrachte, allein schon die Abhandlung vom 30. October hat die Aufschrift: »de animali Electricitate.«

Nach Galvani's Theorie sind die Muskeln die vorzüglichsten Behälter der thierischen Elektricität. Sie stellen gleichsam eine Leidner Flasche dar und zwar ist ihre äußere Oberfläche negativ, in ihrem Innern ist dagegen die positive Elektricität angehäuft. Der Nerv ist der Conductor dieser Flasche, der neben den Blutgefäßen die Muskeln mit Elektricität versieht.

»Der Sturm«, sagt Du Bois, »welchen das Erscheinen des Com»mentars in der Welt der Physiker, der Physiologen und Aerzte erregte, »kann nur mit dem verglichen werden, der zu derselben Zeit (1791) am »politischen Horizont Europas heraufzog. Man kann sagen, wo es Frö»sche gab und wo sich zwei Stücke ungleichartigen Metalls erschwingen »ließen, wollte Jedermann sich von der wunderbaren Wiederbelebung der »verstümmelten Gliedmaßen überzeugen; die Physiologen glaubten ihren »hergebrachten Traum einer Lebenskraft mit Händen zu greifen, den »Aerzten, denen Galvani selbst bereits mit Erklärungsversuchen von »allerlei Nervenkrankheiten, Ischias, Tetanus und Epilepsie nur allzu »leichtfertig vorangegangen schien, keine Heilung mehr unmöglich und zum »wenigsten scheintodt konnte niemand mehr begraben werden, der zuvor »galvanisirt worden war.«

Am lebhaftesten war natürlich die Aufregung in Italien selbst und namentlich in Volta's Umgebung. In vieler Beziehung erscheint gerader er berufen, die Untersuchung aufzunehmen, weil er schon die feinsten elektrischen Untersuchungen durchgeführt und namentlich am Elektrophor und dem Condensator eine Schule durchgemacht hatte.

Nachdem sich Volta von der Richtigkeit der Thatsache überzeugt hatte, faßte er sie Anfangs ganz im Sinne Galvani's auf, allein er gab seinen Untersuchungen sogleich eine mehr physikalische Richtung. Volta wieß nach, daß das Froschpräparat durch eine Ladung der Kleist'schen Flasche erschüttert werde, die kaum $0{,}1^0$ des Bennet'schen Goldblattelektrometers betrage und nur mit Hülfe seines Condensators wahrgenommen und bestimmt werden könne. Den Froschschenkel selbst, nach Galvani's Ansicht, als eine Leidner Flasche betrachtend, suchte er die Stärke ihrer Ladung zu ermitteln; er vergleicht sie mit 0,05 höchstens 0,1 Grad seines Strohhalmelektrometers. Um das Zeichen der Vertheilung in Bezug

auf Nerv und Muskel zu bestimmen, entlud er durch den Frosch eine ganz schwach geladene Flasche bald in der Richtung von der Wirbelsäule zu den Muskeln, bald im umgekehrten Sinn, und fand, daß im ersten Falle Zuckungen erfolgten, im zweiten nicht, und schloß daraus, daß im ersten Falle der Entladungsstrom der schwach geladenen Flasche und des Froschschenkels gleiche, im zweiten Falle aber entgegengesetzte Richtung habe, daß also, Galvani's Ansicht entgegen, der Nerv negativ, die Außenfläche des Muskels aber positiv sey.

Hier hat nun Volta wirklich das Richtige durch Zufall getroffen, denn die eben angeführte Erscheinung hat, wie wir weiter unten sehen werden, einen ganz andern Grund.

Nun aber wird Volta an Galvani's Deutungsart irre. Er findet, daß unter weniger günstigen Umständen die Zuckung nur noch durch Metallbogen hervorgebracht werden kann, welche aus ungleichartigen Metallen zusammengesetzt sind. Er ging darauf aus, am lebenden menschlichen Körper durch denselben Kunstgriff ungleichartiger Metallbewaffnung Zuckungen zu erregen; er belegte die obere und untere Seite der Zunge respective mit Zinn und Silber und fand, als die beiden Metalle in Berührung gebracht wurden, statt der erwarteten Muskelbewegung eine seltsame Geschmacksempfindung. So brachte Volta zum erstenmale den alten Sulzerschen Geschmacksversuch in seine natürliche Verkettung. — Hier konnte also nicht von einer Entladung die Rede seyn, sondern von einem noch dunklen Spiel der Wirkungen ungleichartiger Metallbelege, welches sich während der ganzen Dauer des Geschlossenseyns unablässig erneuert.

Volta sprach nun seine Ansicht dahin aus, daß die Mehrzahl der galvanischen Erscheinungen mit einer thierischen Elektricität nichts zu schaffen hätte, sondern daß die Zuckung von einer sehr schwachen künstlichen Elektricität herrühre, welche durch das Anlegen ungleichartiger Metalle erzeugt würde. Alsbald ging er aber noch weiter, indem er behauptete, daß selbst in solchen Fällen, wo man glaubte, es mit gleichartigen Metallen zu thun zu haben, irgend eine unbemerkt gebliebene Verschiedenheit in der Oberfläche des Metalls die Ursache der Elektricitätsentwickelung gewesen sey. Um zu zeigen, wie leicht sich solche Verschiedenheiten einstellten, machte er den Versuch mit einem wirklich gleichartigen eisernen Bogen, d. h. mit einem solchen, welcher am Froschschenkel keine Zuckung hervorbrachte; das eine Ende dieses Bogens wurde nun eine halbe Minute lang in siedendes Wasser getaucht und vor der Abkühlung desselben der Versuch am Froschschenkel wiederholt, und nun zeigte sich die Zuckung. Dasselbe ergab sich durch Anlassen des einen Endes, während das andere hart blieb. Er ließ nun die Vorstellung einer thierischen Elektri-

citât ganz fallen, indem er überall, wo Zuckungen beobachtet wurden, eine Heterogenität im Metallbogen als Ursache derselben annahm.

Wollte Galvani seine Theorie aufrecht erhalten, so mußte er Zuckungen mit absolut gleichartigen Metallbogen oder Zuckungen ohne Metalle hervorbringen. In der That versuchte er dieß, unterstützt von seinem Neffen Aldini, und wenn ihre Vertheidigung auch keineswegs in allen Theilen eine glückliche genannt werden kann, denn sie beweisen in derselben mehrmals, daß sie Volta's Einwürfe gar nicht richtig verstanden hatten, so führten ihre Bestrebungen dennoch dahin, daß Galvani wirklich Zuckungen ohne Metall hervorbrachte, welche man unbedenklich als von thierischer Elektricität herstammend anerkennen konnte. Wären er und seine Anhänger nun dabei stehen geblieben, diese und solche Zuckungen, welche bei wirklich homogenen Metallbogen entstehen, der thierischen Elektricität zu vindiciren, dabei aber anzuerkennen, daß die kräftigere Wirkung, welche man bei Anwendung ungleichartiger Metallbogen erhält, nach der Volta'schen Ansicht zu erklären sey, so wäre schon damals eine der Wahrheit entsprechende Ausgleichung des Streites möglich gewesen. Man wollte aber durchaus Galvani's Theorie über das ganze Gebiet der beobachteten Zuckungen ausdehnen und erklärte die größere Wirksamkeit ungleichartiger Metallbelege durch den Widerstand, den diese Art der Zusammensetzung des Bogens dem Durchgange der thierischen Elektricität entgegenstelle, wodurch denn eine stärkere Anhäufung und eine kräftigere Entladung derselben bewirkt werden sollte.

Die Versuche, um Zuckungen ohne Metalle zu erhalten, hat Galvani in mannichfacher Weise modificirt und in einer anonymen Schrift beschrieben, welche unter dem Titel: »Dell' uso e del attivita dell' Arco conduttore nelle contrazzione de' muscoli,« wahrscheinlich im Jahre 1794 erschienen ist. Sie fand nur eine geringe Verbreitung. — Manche der von Galvani angegebenen Formen des Versuchs sind nicht tadellos, die folgende aber kann wirklich als der Grundversuch der elektrischen Muskel- und Nervenphysik bezeichnet werden: Man schneide an dem Galvani'schen Froschpräparat die Nerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelkanal ab, und ohne sie in irgend eine Flüssigkeit zu tauchen oder sonst einem verändernden Einfluß auszusetzen, bringe man sie mit der Außenfläche des einen Schenkels in Berührung, entweder indem man sie mit einem Nichtleiter aufhebt und dann wieder fallen läßt, oder indem man sie mit demselben sanft dagegen führt, und zwar, wo möglich nur gegen einen einzigen Punkt der Muskeln; sogleich würden die Schenkel zucken.

Ja Galvani brachte sogar den Schenkel zum Zucken, indem er den Nerven mit einem fremden Muskel in Berührung brachte, welcher mit

den Schenkeln gar nicht leitend verbunden war; er ließ den Nerven des nicht enthäuteten Präparats auf ein Stück Bauchmuskel fallen, welches, auf einer Glasplatte ruhend, sonst in keiner Verbindung mit dem Frosche stand, und der Schenkel zuckte. Wir werden den wahren Zusammenhang dieser Erscheinung später kennen lernen.

Volta hebt nun diesen Versuchen gegenüber besonders hervor, daß diese Zuckungen außerordentlich schwach sind gegen diejenigen, welche durch ungleichartige Metalle entstehen, daß sie nur in seltenen Fällen höchster Leistungsfähigkeit des Froschpräparates auftreten, und suchte anfangs diese Zuckungen durch eine mechanische Reizung der Nerven zu erklären; doch gestand er später selbst ein, hier zu weit gegangen zu seyn, nachdem es ihm gelungen war, seine Theorie so zu modificiren, daß sie auch diese Thatsache erklären konnte. Er sagt, man könnte sich nach diesen Versuchen veranlaßt finden, auf den Standpunkt zurückzukehren, welchen er im Sommer 1792 eingenommen hatte: nämlich einen Theil der Erscheinungen auf Rechnung der Metalle bringen und die Zuckungen mit gleichartigen Bögen und ohne Metalle von einer wirklichen ächten, den thierischen Gliedern eingeborenen Elektricität herleiten. Aber warum, fragt er, einerlei Wirkung verschiedene Ursache unterlegen? seine Grundsätze reichten hin, auch diese scheinbar davon abweichenden Resultate zu deuten. Volta's Erklärung des fraglichen Phänomens kommt darauf zurück, daß zwei einander ungleichartige thierische Theile, z. B. Nerv und Muskel, durch Dazwischenkunft eines feuchten Leiters zur Kette vereinigt würden, denn, wenn der Versuch gelingen soll, so darf der Schenkelmuskel, auf welchen man den Nerven legt, nicht ganz rein, sondern er muß, wie dies auch seine Gegner anführen, mit Blut oder sonst einer zähen Flüssigkeit verunreinigt seyn. Blieben die Zuckungen aus, so genüge es daher, um sie zu erzeugen, die Theile, welche zur Berührung gebracht werden sollte, mit Speichel, mit Salzwasser, mit Schleim u. s. w., noch besser aber mit Seifenwasser und am besten mit stark sauren oder alkalischen Flüssigkeiten zu benetzen.

Nun, wo es um die thierische Elektricität wirklich bedenklich zu stehen scheint, tritt Humboldt für dieselbe in die Schranken. In seinem berühmten Werke: »Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. (Posen und Berlin 1797), beschreibt er eine Reihe von Versuchen, welche Zuckungen von Froschschenkeln unter Umständen hervorbrachten, in welchen sowohl der Verdacht der mechanischen Reizung als auch der Verunreinigung durch Blut, Schleim u. s. w. gänzlich beseitigt war, indem nur Nerv und Muskelfleisch in Berührung kamen. Humboldt faßt die Ergebnisse seiner Versuche folgendermaßen zusammen: »Hier hatte ich also lebhafte Muskelbewegungen erregt

»1) indem ich die Lende eines Thieres gegen den »Ischiadnerven zurückbog, mit dem sie noch »organisch verbunden war;

»2) indem der Cruralnerv und sein Schenkelmus»kel mittelst eines abgeschnittenen Stückes »Cruralnerv zugleich berührt wurde, und

»3) indem thierische Theile eine Leitung von ei»nem Theile des Nerven zum andern bildeten.

»In dem ersten Falle war der Contact bloß unter solchen Theilen, »welche organisch mit einander verbunden waren. In den beiden letz»ten Fällen geschah derselbe mittelst getrennter Stücke, welche aber kurz »vorher noch dem gereizten Organe angehörten und entweder der sensibeln »oder irritabeln Fiber homogen waren.«

Ferner beweist Humboldt die Möglichkeit von Zuckungen mit wirklich gleichartigen Metallbogen. In Beziehung auf Volta's entgegenstehende Behauptungen sagt er: »Es ist unwidersprechlich wahr, und durch die »Beobachtungen des großen Ticinischen Naturlehrers erwiesen, daß »Thiere, bei denen homogene Metalle keine Convulsio»nen erregen, dieselben sogleich erleiden, wenn die Me»talle durch die leiseste Abänderung des Mischungsver»hältnisses, der Politur, Härte, Form, Temperatur, un»gleichartig gemacht werden. Dieses ist das Resultat jener Ver»suche, wie mir scheint, nicht aber der Satz, den Volta aufstellt: daß »nur unter der Bedingung einer Ungleichartigkeit in den »Metallen Muskelbewegungen erfolgen könne.«

So weiß Humboldt mitten im leidenschaftlichen Kampfe mit klarem Blick den richtigen Standpunkt aufzufinden.

Auch Galvani suchte noch in mehreren Briefen an Spallanzani die Verdächtigungen zu entkräften, welche Volta gegen die Zuckung ohne Metalle vorgebracht hatte, um alsbald vom Schauplatz abzutreten, indem er am 4. December 1798 starb, vielleicht ein Glück für ihn, ohne die Entdeckung der Säule und den dadurch herbeigeführten gänzlichen Untergang seiner Lehre zu erleben.

Aber auch Volta hatte unterdessen, auf seinem Wege vorwärtsstrebend, Riesenschritte gemacht. Bisher hatte er es noch ganz unentschieden gelassen, ob die Ursache des Stromes eher in der Berührung der Metalle unter sich, als in der Berührung der Metalle mit der Flüssigkeit zu suchen sey; ja er neigte sich sogar entschieden zu der Ansicht, die Berührungsorte der Metalle mit der Flüssigkeit seyen der Sitz des stromerregenden Vorganges. Erst später überzeugte er sich, daß bei der gewöhnlichen Art, die Galvani'schen Versuche anzustellen, wobei die Metalle an wässerige oder

ähnliche feuchte Leiter angelegt werden, weit mehr der wechselseitigen Berührung der Metalle, als ihrer Berührung mit dem feuchten Leiter zugeschrieben werden müsse, und nun folgt die berühmte Versuchsreihe, welche unter dem Namen der Volta'schen Fundamentalversuche bekannt ist, durch welche die Elektricitätserregung durch Berührung homogener Metalle experimentell nachgewiesen wurde.

Zu Ende des Jahres 1799 glückte ihm der Schritt, von dem er selbst sagt, daß er ein großer gewesen sey.

Es war die Entdeckung der Säule.

Durch die Säule war der Sieg seiner Ansichtsweise entschieden. Nur noch Aldini war für die verlorene Sache der thierischen Elektricität thätig und gab im Jahre 1804 ein Prachtwerk in französischer Sprache unter dem Titel „Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme" heraus. In diesem Werke führt er neben vielen ganz werthlosen Versuchen manche als neu an, welche längst von andern Naturforschern beschrieben waren, ja er geht so weit, ein Plagiat an Galvani zu versuchen, indem er sich die Entdeckung der Zuckungen ohne Metalle vindicirt. Mit Aldini's Werk tritt die thierische Elektricität für einen Zeitraum von 23 Jahren von der Bühne der Wissenschaft ab, denn bis zum Jahre 1827, wo Nobili die elektromagnetische Wirkung des Froschstroms darthat, treten nun noch einzeln stehende Bestätigungen des Grundversuchs ohne Metalle auf.

279 **Elektromagnetische Wirkungen des Froschstroms.** Oersted hatte im Jahr 1840 die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom entdeckt, welche alsbald zur Construction des Multiplicators führte, durch welchen, wie Du Bois treffend sagt, »die Metallelektricität in »den Stand gesetzt wurde, das Unrecht zu vergüten, dessen sie sich an ihrer »zarteren Zwillingsschwester in frühern Jahren schuldig gemacht.«

Nobili hatte durch Anwendung der Ampère'schen astatischen Doppelnadel dem Multiplicator einen bis dahin nicht geahnten Grad von Empfindlichkeit gegeben. Der erste Gebrauch, den er davon machte, war, daß er elektrische Ströme in den Nerven aufsuchte. Seine Bemühungen blieben vergeblich. Nobili wollte nun die Empfindlichkeit des Froschpräparats mit der seines Multiplicators vergleichen. Es ist ein alter Versuch, daß das Galvani'sche Froschpräparat zuckt, wenn man Wirbelsäule und Füße in zwei Gefäße mit Wasser oder Salzlösung taucht und diese leitend verbindet, etwa durch befeuchtete Asbest- oder Baumwollendochte. Als derselbe Strom, welcher das Froschpräparat zucken machte, auch durch den Multiplicator geleitet wurde, blieb aber die Nadel ruhig. Der schwache Strom also, welcher das Froschpräparat noch zucken macht, konnte die Nadel des Multiplicators nicht mehr bewegen.

Nun wandte Nobili allen Fleiß auf die Herstellung eines neuen, noch vollkommneren Multiplicators: jetzt erhielt er mit Salzlösung in den Gefäßen einen ersten Ausschlag von 10°, 20°, ja von 30°. Enthielten dieselben nur Wasser, so betrugen die Ausschläge nur wenige Grade, und auch diese Ausschläge verschwanden, als die Wasserstrecke verlängert wurde, während ein kräftiger Frosch unter diesen Umständen noch fortfuhr, durch schwache Zuckungen seine überlegene Empfindlichkeit darzuthun. — Die Ablenkung des Multiplicators war aber, wenn sie erfolgte, stets so gerichtet, daß er einen positiven Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füßen zum Kopf in dem Frosch anzeigte. Diesen Strom, denselben, welcher die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili „la corrente propria della rana"; wir nennen ihn Froschstrom.

Die wichtigsten Thatsachen, welche Nobili in Beziehung auf den Froschstrom ausmittelte, sind folgende:

Der Froschstrom ist nicht bloß im Augenblick der Schließung, sondern dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5° beständiger Ablenkung. — Die Wirkung wird verstärkt, wenn man mehrere Frösche, nach dem Gesetz der Säule geordnet, in den Kreis einführt; ein zweiter Frosch gab 8°, ein dritter gab 11° beständiger Ablenkung. — Das Daseyn des Stromes ist von der Fähigkeit des Frosches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig, was daraus hervorgeht, daß die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden fortdauern, während die Zuckungen höchstens nach ¼ Stunde aufhören. Die Mehrzahl der frisch zubereiteten Frösche zeigt nur die Schließungszuckung, während bei sehr kräftigen auch die Oeffnungszuckung wahrgenommen wird; wenige zeigten nur die Oeffnungszuckung.

Was die Theorie des Froschstromes anlangt, so huldigte Nobili der Ansicht, diese Ströme seyen thermoelektrischen Ursprungs, und leitete sie aus der stärkeren Abkühlung her, welche die geringere Masse der Nerven im Verhältniß zu der geringeren Abkühlung der größeren Masse der Muskeln durch die Verdunstung erleiden.

Diesen Aussprüchen einer solchen Autorität ist es wohl beizumessen, daß die Entdeckung der elektromagnetischen Wirkung des Froschstroms so wenig Aufsehen erregte und einen so geringen Einfluß auf die Behandlung der thierischen Elektricität gewann.

Erst den Bestrebungen Matteuccis gelang es, die Bedeutung zur Einsicht zu bringen, welche der Froschstrom für die organische Physik hat. — Schon früher hatte er sich mit allerlei elektrisch-physiologischen Untersuchungen beschäftigt, deren Betrachtung wir übergehen, weil sie weder mit

unserm Gegenstande in näherer Beziehung stehen, noch an und für sich irgend nennenswerthe Resultate ergaben.

Sehr wahr charakterisirt Du Bois den Geist, welcher sich in allen Arbeiten Matteucci's kund giebt, in folgender Weise: »Dieselbe Untreue »der Natur, sich selbst und andern Forschern gegenüber, dieselbe Leichtfer»tigkeit in seinen Behauptungen und in seinen Hypothesen, welche mehr »geeignet scheinen Aufsehen zu erregen, als sich den Thatsachen anzuschmiegen; »dieselbe Lockerheit der Schlußfolgen, wodurch er verhindert wird, den »Vortheilen nachzugehen, womit ihn der Zufall während seiner langen mit »anerkennenswerther Emsigkeit geführten Forschungen mehrmals glänzend »beschenkte; endlich eine Vernachlässigung der Form, welche nicht durch »den Gebrauch einer fremden Sprache entschuldigt werden kann, da sie »sich mehr in der mangelhaften Gliederung des Stoffs und in der viel»deutigen Unbestimmtheit des Ausdrucks kund giebt: dies sind die Uebel»stände, welche wir im Laufe dieses Werkes noch häufig zu bekämpfen »haben werden.«

Es ist sehr zu bedauern, daß Matteucci diejenigen Entdeckungen und Forschungen, welche wirklich einen Werth für die Wissenschaft haben, in der leidigen Sucht, massenweise seine Aufsätze in die Welt zu schicken, so sehr mit Werthlosem und Irrigem verdünnt, publicirt hat, daß er aus Eitelkeit sich so viele Sünden gegen die Wahrheit zu Schulden kommen läßt; er veröffentlicht seine Untersuchungen größtentheils in verschiedenen Journalen Italiens, Frankreichs und Englands; meist findet man in seinen Aufsätzen einen geringen Gehalt an Neuem mit solchem zusammengestellt, was er schon an zehn andern Orten in etwas anderer Weise publicirt hat. In der Hast, eine neue Waare zu Markt zu bringen, muß er natürlich sehr häufig Unreifes und Irriges hinaussenden, er kommt daher sehr häufig in den Fall, daß er sich später selbst eines Bessern überzeugt. Aber Matteucci widerruft nie, die neue Ansicht wird publicirt, ohne der alten auch nur mit einer Silbe zu erwähnen, diese wird völlig ignorirt, nie corrigirt. Große Gewandtheit besitzt Matteucci darin, die Untersuchungen älterer und neuerer Naturforscher zu benutzen ohne sie zu nennen, und so sich mit fremden Verdiensten zu schmücken.

So scheinen denn Matteucci's Aufsätze mehr dazu gemacht, Aufsehen zu erregen als studirt zu werden; sie bilden ein Chaos, aus dem das Wahre und Werthvolle nur mit Mühe hervorgezogen werden kann. Kein Wunder ist es, wenn wir unter diesen Umständen sehen, wie Du Bois, nachdem er sich durch dieses Labyrinth durchgearbeitet hat, voll gerechten Ingrimms die Geißel über ein solches Treiben schwingt. Wir müssen Du Bois' Kritik, welche er in diesem Werke sowohl, als auch im Berliner Jahresbericht über Matteucci ergehen läßt, um so mehr als gerechtfer-

tigt erklären, als die Unarten, welche hier gezüchtigt werden und welchen sich Matteucci in so hervorstechendem Maaße schuldig macht, mehr oder weniger auch andern Naturforschern zur Last fallen, und es im Interesse der Wissenschaft wirklich wünschenswerth ist, dergleichen mehr und mehr ausgerottet zu sehen.

Becquerel hatte im Jahre 1836 eine Theorie der Zitterfische aufgestellt, der zu Folge sich die Elektricität im Moment des Schlages im Gehirn entwickelt und von hier aus dem elektrischen Organ zugeführt wird, um hier zur Ladung der kleinen Säulen zu dienen, aus denen es zusammengesetzt ist.

Matteucci bemächtigt sich dieses Gedankens; ohne Becquerel zu nennen, publicirt er diese Theorie in verschiedenen Journalen. In seinem „Traité des phénomènes électrophysiologiques des animaux 1844“ thut er derselben gar keine Erwähnung mehr, weil er wohl unterdessen die Unhaltbarkeit dieser Ansicht eingesehen hatte, ohne jedoch irgendwo klar und deutlich seine Meinungsänderung angezeigt zu haben.

Diese Theorie nun führte ihn zum Studium des Froschstroms. Er nahm an, die Elektricitätsentwickelung im Gehirn entspringe aus der Berührung des „élément nerveux“ und des „élément sanguin“, die sich im Gehirn befänden; und dieselben wirksamen Bestandtheile erblickte er im elektromotorischen Schenkel des Frosches, und sein Bestreben ging zunächst dahin, den Froschstrom von dem Verdacht eines gemeinen elektrochemischen oder thermoelektrischen Ursprungs zu befreien.

Die ersten Untersuchungen über den Froschstrom in Verbindung mit solchen über den Zitterrochen publicirte Matteucci im Jahre 1837. Im Jahre 1838 publicirte er einen für uns wichtigeren Aufsatz über den Froschstrom allein. Er bediente sich zu den Versuchen, welche in diesem Aufsatz besprochen werden, eines Multiplicators von 2500 Windungen mit Platinenden, die in zwei mit verdünnter Salzlösung gefüllte Porzellangefäße tauchten, die ich mit a und b bezeichnen will. a war mit einem dritten Gefäße c, b mit einem vierten d, welche gleichfalls verdünnte Salzlösung enthielten, durch dicke Baumwollendochte verbunden. Die Schließung der Kette geschah durch die Verbindung von c und d mittelst des Froschpräparates.

Die wichtigsten Resultate, die er hier mittheilt, sind folgende. Man erhält einen Strom, eben so stark wie den des Galvani'schen Präparates, wenn man den ganzen enthäuteten Frosch zum Versuch verwendet und die Füße in das eine, den Kopf oder Rücken in das andere Gefäß taucht. Mit dem Galvani'schen Präparat erhält man den Strom noch in ungeschwächter Stärke und immer in gleicher Richtung, wenn man, nachdem die Nerven ganz weggeschnitten sind, den Unterschenkel auf

der einen, den Oberschenkel auf der anderen Seite eintaucht. — Was die Größe der Multiplicatorwirkung betrifft, so erhielt Matteucci bei Weglassung der beiden mittleren Gefäße einen Ausschlag von 25—30°, und eine beständige Ablenkung von 3°, welche aber wegen der wachsenden Polarisation an den Platinplatten binnen einer viertel Stunde auf 2° sank. Wurde nun nach Entfernung des Frosches die Kette durch einen Docht geschlossen, so erfolgte ein von der Ausgleichung der Polarisation herrührender Ausschlag von 15 — 20 Graden nach der entgegengesetzten Seite. — Weil der Froschstrom eine ziemlich dicke Schicht von Salzwasser durchdringe, so müsse er, meinte Matteucci, auch einer elektrochemischen Wirkung fähig seyn (?), und versuchte diese durch Jodkaliumlösung nachzuweisen. — An tetanischen Fröschen solle der Strom fehlen. — Ein durch Eis erkalteter Frosch gebe gleichfalls keinen Strom mehr u. s. w.

Von dem »courant propre des nerfs et du sang«, welche Hypothese der Ausgangspunkt dieser Untersuchungen für Matteucci war, ist hier schon nicht mehr die Rede, er sagt, die Ursache des Froschstroms sey uns schlechterdings unbekannt.

Matteucci's wahres Verdienst in dieser Arbeit ist in dem Nachweis zu suchen, daß der elektromotorische Vorgang, auf welchem der Froschstrom beruht, unabhängig ist von der Berührung vom Muskel- und Nervengewebe außerhalb der Glieder oder ihrer Schließung zum Kreise; daß die Verbindung von je zwei Punkten des Frosches, z. B. Unterschenkel und Rücken, einen Strom gebe. Durch diese Entdeckung fällt die ältere Volta'sche Theorie, Nobili's thermoelektrische Hypothese und die Vorstellung eines gemeinen elektrochemischen Vorgangs in sich zusammen. Die hier von Matteucci angewandte Beobachtungsmethode enthält den Keim, dessen weitere Entwickelung die Mittel bietet, die Gesetze des Muskelstroms näher zu erforschen. — Diese Arbeit, welche später in Matteucci's »Essai sur les phénomènes électriques des animaux« Paris 1840, als sechstes Kapitel der zweiten Abtheilung unverändert und ohne Zusatz nochmals abgedruckt wurde, bildet den Ausgangspunkt der Untersuchungen, welche Du Bois über thierische Elektricität anstellte.

Die ersten Erfolge in der Bearbeitung des Gegenstandes erhielt derselbe im Frühjahr 1842. Im Januarheft 1843 von Poggendorff's Annalen erschien ein Aufsatz von Du Bois unter dem Titel: »Vorläufiger Abriß einer Untersuchung über den Froschstrom und über die elektromotorischen Fische«, welche die Resultate seiner ersten Untersuchungen enthält. Ich werde über diese Arbeit nicht besonders berichten, weil ihre Resultate in das größere Werk übergegangen sind, welches wir eben besprechen.

Der Multiplicator. Hier mag in Kürze das Wichtigste von dem 280
folgen, was Du Bois mit dankenswerther Ausführlichkeit über die Construction und die Anwendung dieses Instrumentes sagt.

Da der Leitungswiderstand der elektromotorischen Theile des thierischen Körpers, welche durch den Multiplicator geschlossen werden, sehr bedeutend ist, so muß man zur Construction eines zu diesen Versuchen brauchbaren Multiplicators auch einen sehr langen und dünnen Draht verwenden. Zum Du Bois'schen Multiplicator waren 1000 Meter Kupferdraht von 0,17^{mm} Durchmesser verwendet worden, und zwar bildete dieser Draht 4650 Windungen. In der Form wich dieser Multiplicator etwas von den bisher gebräuchlichen ab. Die Länge des Rahmens, auf welchen der Draht aufgewunden wurde, war im Lichten 64^{mm} lang und 37^{mm} breit; die Höhe der Querleisten, also der Zwischenraum, in welchem die untere Nadel spielte, war nur 4^{mm} hoch. Die Länge der Seitenwände betrug 110, ihre Höhe 51 Millimeter. Der durch die Drahtwindung gebildete Körper war also schmaler und höher als gewöhnlich.

Die Länge der Nadeln betrug 58,4^{mm}, ihr Durchmesser 1^{mm}, ihr Abstand im Lichten 25^{mm}.

Die Nadeln waren cylindrisch mit kegelförmigen Spitzen; jede Nadel wog 384, das neusilberne Verbindungsstück 408 Milligramm. Später wandte Du Bois ein anderes Spiel Nadeln an, welches bei gleicher Empfindlichkeit eine geringere Schwingungsdauer hat. Länge und Abstand der Nadeln waren dieselben, die Nadeln aber etwas dünner und allmälig zugespitzt. Das Gewicht jeder Nadel beträgt 226, das Gewicht des kupfernen Verbindungsstückes 130 Milligramm.

Die Franzosen verwenden in der Regel noch weit leichtere Nadeln, welche allerdings eines stärkern Magnetismus fähig sind, deren magnetischer Zustand aber auch bei weitem nicht so stabil ist als der der stärkern Nadeln; deshalb verliert sich bei den französischen Instrumenten so leicht die Astasie, namentlich wenn die beiden Nadeln nicht gleich lang sind.

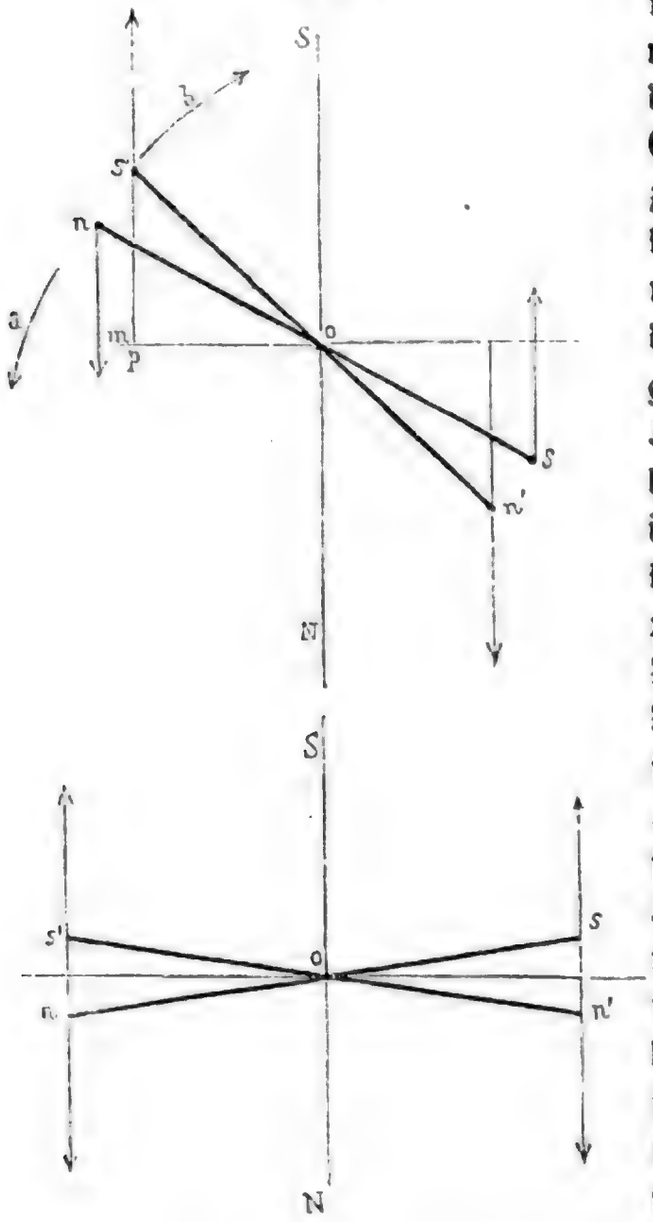
Je vollkommner astatisch ein Nadelpaar ist, desto langsamer wird es schwingen. Du Bois hat es nicht über eine Schwingungsdauer von 30″ gebracht, während Matteucci von Nadelpaaren spricht, welche 70″ zu einer Schwingung brauchten. Du Bois räth aber, bei dem Bau des Multiplicators es vielmehr im Auge zu haben, durch die Anzahl der Windungen und ihre möglichst günstige Lage gegen die Nadeln die genügende Empfindlichkeit zu erzielen, als durch die weiter getriebene Astasie. Der von Du Bois gebrauchte Multiplicator warf die Nadeln oft schon gegen die Hemmung, während Matteucci unter gleichen Umständen nur eine Ablenkung von wenigen Graden erhielt.

Ein gut astatisches Nadelpaar stellt sich nicht mehr in den in den mag-

netiſchen Meridian ein, ſondern weicht um ſo mehr von demſelben ab, je vollkommner die Aſtaſie iſt, ſich endlich nahezu rechtwinklig auf den magnetiſchen Meridian ſtellend. Du Bois nennt dies bezeichnend die freiwillige Ablenkung aſtatiſcher Nadelpaare. An der Größe dieſer freiwilligen Ablenkung kann man die mehr oder weniger vollkommene Aſtaſie der Nadeln erkennen.

Schon Nobili hat den Grund der freiwilligen Ablenkung richtig darin gefunden, daß die Horizontalprojectionen beider Nadeln nie ganz zuſammenfallen, ſondern einen mehr oder weniger großen Winkel mit einander machen. Es iſt dies mit Hülfe der Figur 274 leicht zu überſehen. Es ſeyen *ns* und *n's'* die Horizontalprojectionen der beiden vollkommen gleichen und gleich ſtark magnetiſchen Nadeln, *NS* der durch ihren Kreuzungspunkt *o* gelegte magnetiſche Meridian. Die Kräfte, welche die Nadeln zu drehen ſtreben, können wir uns in ihren Endpunkten angebracht denken, und zwar iſt ihre Richtung parallel mit *NS*, wie es in der Figur durch Pfeile angedeutet iſt. Bezeichnen wir die in *n* angreifende, parallel mit *NS* wirkende Kraft mit *k*, ſo iſt *kl* das ſtatiſche Moment, mit welchem dieſe Kraft die eine Nadel in der Richtung des Pfeiles *a* zu drehen ſtrebt, wenn wir mit *l* den Hebelarm *om* bezeichnen. Die Geſammtkraft, mit welcher die Nadel *s* in dieſer Richtung gedreht wird, iſt $2kl$, weil am anderen Ende der Nadel eine gleiche Kraft, an gleichem Hebelarm angreifend, eine Drehung nach derſelben Richtung bewirkt.

Fig 274.



Die Kraft, mit welcher die andere Nadel *n's'* in entgegengeſetzter Richtung, alſo in der Richtung des Pfeils *b* gedreht wird, iſt $2kl'$, wenn mit *l'* der Hebelarm *op* bezeichnet wird.

Zwischen den beiden, das System nach entgegengesetzter Richtung drehenden statischen Momenten $2kl$ und $2kl'$ kann aber natürlich nur dann Gleichgewicht stattfinden, wenn $l = l'$, und dies ist nur dann der Fall, wenn die Nadeln die in Fig. 274 vorgezeichnete Lage haben, d. h wenn die Linie, welche den in der Wirklichkeit sehr spitzen Winkel der Nadeln halbirt, rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Von dieser Stellung wird die Gleichgewichtslage des Nadelpaars natürlich um so mehr abweichen, je ungleicher der Magnetismus der beiden Nadeln ist.

Die freiwillige Ablenkung hat für den Gebrauch des Multiplicators keinen praktischen Nachtheil. Man folgt der Nadel mit der Nulllinie, bis sie in derselben einsteht, und arbeitet alsdann, als ob sie sich im Meridian befände.

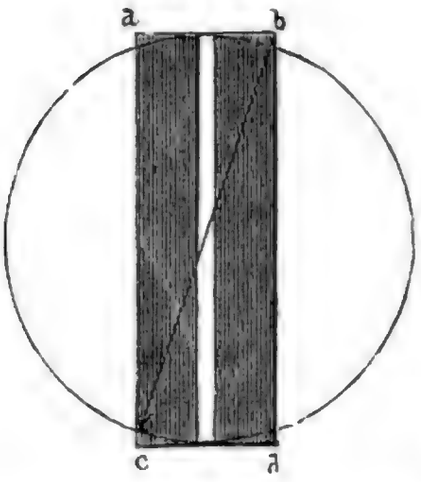
Mit der wachsenden Astasie der Nadeln macht sich aber auch noch eine Ablenkung der Nadeln durch die Drahtmassen geltend, welche die Brauchbarkeit der Instrumente sehr beeinträchtigt. Es hält nämlich sehr schwer, Kupferdraht für die Windungen zu erhalten, welcher absolut unmagnetisch ist. Ganz rein kann man freilich das Kupfer auf galvanischem Wege darstellen, das galvanische Kupfer soll sich aber nicht zu so feinem Drahte ausziehen lassen, wie es zu diesen Multiplicatoren nöthig ist Außerdem ist zu bedenken, daß das Kupfer durch das Ziehen selbst schon etwas mit Eisen verunreinigt wird. Kurz, die Drahtmassen üben immer eine, wenn auch nur sehr geringe Anziehung auf die Nadeln aus.

Diese Anziehung äußert sich im Allgemeinen auf folgende Weise. Bei geringer Schwingungsdauer des Nadelpaars wird keine Störung durch die Drahtmassen fühlbar, die Nadel hält leicht die Nulllinie ein. Bei größerer Astasie bemerkt man meistens zuerst, daß die Stellung der Nadel im Multiplicator nicht mehr völlig mit der außerhalb desselben beobachteten übereinstimmt. Folgt man jetzt der Nadel mit den Windungen, so flieht sie bis zu einer gewissen Lage derselben vor der Nulllinie her, wobei sich der Winkel zwischen ihr und der Nulllinie stets verkleinert; überschreitet man diese Gränze, so schlägt die Nadel plötzlich durch den Nullpunkt durch, und sucht jenseits desselben eine feste Gleichgewichtsstellung. Bei noch mehr steigender Astasie verwickeln sich die Erscheinungen noch mehr.

Betrachten wir zuerst den störenden Einfluß, welchen die Drahtwindungen auf ein absolut astatisches Nadelsystem, also auf ein solches ausüben, welches dem Einfluß des Erdmagnetismus ganz und gar entzogen ist. Ein solches Nadelpaar hat in den Drahtwindungen zwei Stellungen des stabilen Gleichgewichts, es stellt sich in die Richtung der einen oder der anderen Diagonalen der Drahtwindungen, wie dies in Fig. 275, s. f. S., angedeutet ist, in welcher *abcd* die Horizontalprojection der Draht-

windungen ungefähr in den Verhältnissen des Multiplicators darstellt, mit welchem Du Bois arbeitete.

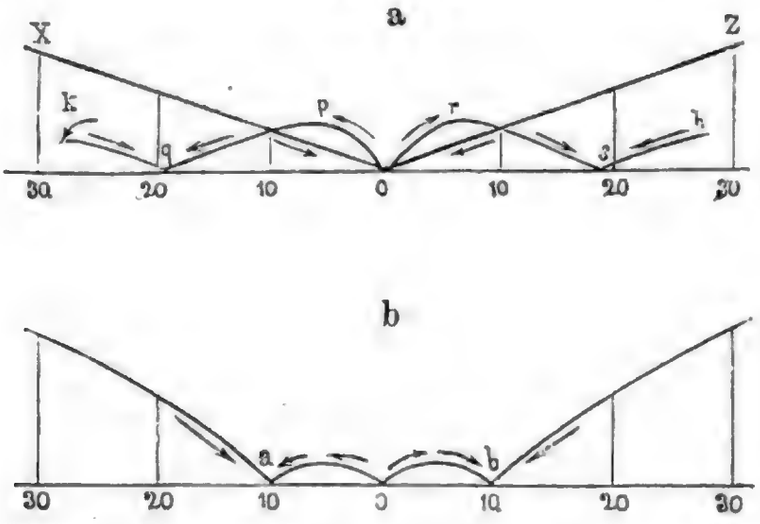
Fig. 275.



Bringt man das absolut astatische Nadelpaar aus der Lage *bc* heraus, und zwar nach der einen oder anderen Seite hin, so wird es durch die magnetische Anziehung der Drahtmassen wieder in die Lage *bc* zurückgeführt. Ueber dem Spalt, welcher die beiden Hälften der Drahtwindungen theilt, befindet sich das Nadelpaar im Zustande des labilen Gleichgewichts, denn bei der allergeringsten Verrückung nach der linken, wird es in die Lage *bc* geführt, während es sich in die Lage *ad* begiebt, wenn die Nadel von dem dem Spalte entsprechenden Punkte nur etwas nach der rechten bewegt wird.

Im Nullpunkt der Theilung ist also die Kraft, mit welcher die Drahtwindungen die Nadel zu drehen streben, gleich Null, d. h. sie wird gleich stark nach der Rechten und nach der Linken gezogen; rechts vom Nullpunkt wird sie nach der Rechten, links von demselben wird sie nach der Linken gezogen. Die Größe der Kraft, mit welcher das Nadelpaar in verschiedenen Punkten der Theilung durch die Drahtmassen afficirt wird, ist in Fig. 276 durch die Kurve *kqporsh* dargestellt, welche Du Bois die

Fig. 276.



störende Kurve nennt. Die Abscissen sind den Graden der Theilung, die Ordinaten sind der Kraft proportional, mit welcher die Nadel afficirt wird. Die Richtung, nach welcher in den entsprechenden Punkten die Nadel gedreht wird, ist durch Pfeile angedeutet, welche der störenden Kurve beigesetzt sind. *o* entspricht dem Nullpunkt der Theilung.

Der Punkt *o* ist also der Punkt des labilen Gleichgewichtes, die Nadel wird nach beiden Seiten hin von demselben weggezogen; in *q* und *s*, welche Punkte bei Du Bois' Multiplicator 19,5° rechts und links vom Nullpunkt liegen (vergl. Fig. 275), sind die beiden Punkte des stabilen Gleichgewichts, denn von beiden Seiten her wird die Nadel in diese Lage zurückgetrieben, wenn man sie etwas aus derselben entfernt. Ungefähr in den *p* und *r* entsprechenden Punkten ist die Kraft, mit welcher die Nadeln durch die Einwirkung der Drahtmassen gegen die Punkte des stabilen Gleichgewichts hingetrieben wird, ein Maximum.

In Betreff der Art und Weise, wie für jedes Instrument die Gestalt der störenden Kurve auf dem Wege des Versuchs gefunden werden kann, muß ich auf das verweisen, was Du Bois darüber in seinem Werke sagt.

Das Nadelpaar ist aber außer der magnetischen Einwirkung der Drahtmassen, auch noch der magnetischen Erdkraft unterworfen, welche für sich allein dasselbe auf dem Nullpunkt der Theilung zurückzuhalten strebt, und es mit desto größerer Kraft nach demselben zurücktreibt, je weiter man es von demselben entfernt. Im Allgemeinen ist die Kraft, mit welcher die Erdkraft auf das Nadelpaar wirkt, um so geringer, je vollkommner astatisch dasselbe ist. In Fig. 276 stellen die Ordinaten der Kurven *xo* und *zo* die Kraft dar, mit welcher die Erdkraft das Nadelpaar an den entsprechenden Theilen der Theilung gegen den Nullpunkt hintreibt. Diese Kurven *xo* und *zo*, welche sich auf ein ziemlich gut astatisches Nadelpaar beziehen, schneiden die störende Kurve in zwei Punkten.

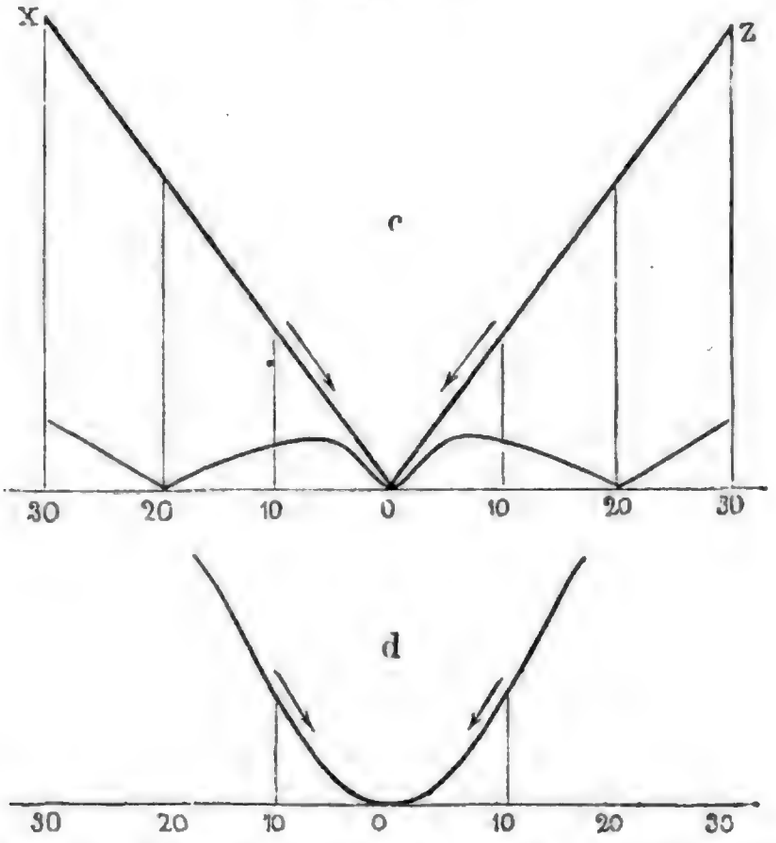
Die Einwirkung, welcher die Nadeln unter dem Einflusse der beiden Kräfte ausgesetzt sind, wird durch die Kurve Fig. 276 b dargestellt, welche durch die Combination der beiden Kurven in Fig. 276 a in der Weise gebildet ist, daß an Stellen der Theilung, wo die beiden Kräfte in gleicher Richtung auf die Nadel wirken, die Summe der beiden Ordinaten aufgetragen ist, hingegen die Differenz derselben an solchen Stellen, wo die beiden Kräfte die Nadeln nach entgegengesetzter Richtung afficiren.

Man sieht, daß auch in diesem Fall bei *o* nur ein labiles Gleichgewicht stattfindet, daß sich aber auf jeder Seite des Nullpunktes ein Punkt des stabilen Gleichgewichtes befindet, nämlich bei *a* und bei *b*.

Ist das Nadelpaar weniger astatisch, so werden die Kurven *xo* und *zo* steiler, die Durchschnittspunkte desselben mit der störenden Kurve, also auch die Punkte *a* und *b* des stabilen Gleichgewichtes rücken mehr gegen den Nullpunkt hin, bis endlich im Nullpunkt selbst ein stabiles Gleichgewicht stattfindet, Fig. 277 d, s. f. S., so bald nur die Nadeln so wenig astatisch sind, daß die Kurven *xo* und *zo* ganz über die störende Kurve fallen, wie in Fig. 277 c, s. f. S.

Wenn man in Folge des störenden Einflusses der Drahtwindungen die Nadel nicht auf dem Nullpunkt der Theilung in ein stabiles Gleichgewicht

Fig. 277.



bringen kann, so ist das Instrument in diesem Zustande wenigstens unbrauchbar; es fragt sich, was man zu thun habe, um den erwähnten störenden Einfluß der Drahtmassen entweder aufzuheben oder wenigstens unschädlich zu machen.

Da sich das durchaus eisenfreie galvanoplastische Kupfer nicht wohl zu so dünnem Drahte ausziehen läßt, wie er zu Multiplicatoren von großem Widerstand erforderlich ist, so gelingt es nicht leicht, Kupferdraht zu erhalten, welcher nicht zu der erwähnten Störung Veranlassung gäbe, wenn der Draht, wie dies gewöhnlich der Fall ist, durch den Spalt, welcher die eine Nadel hindurch läßt, in zwei Hälften getheilt ist, wodurch ein Anziehungsmittelpunkt auf jeder Seite der Nullinie entsteht. Peclet hat deshalb eine von Poggendorff modificirte Vorrichtung angegeben, durch welche es möglich wird, den Spalt ganz zu vermeiden. Kleiner hat, statt den Spalt mit dem Kupferdraht selbst zuzuwickeln, vorgeschlagen, denselben nachträglich, wenn die Nadeln an ihrer Stelle sind, mit passend zugerichteten Stücken desselben Kupfers auszufüllen, aus welchem die Drähte bestehen.

Durch diese noch in mannichfache Weise zweckmäßig variirten Methoden werden gewissermaßen die Ordinaten der störenden Kurve zu Null gemacht, man hat also nicht nöthig, die Astasie des Nadelpaars zu beschränken.

Schröder fügt ein Paar $1\frac{1}{2}'''$ lange, dünne Eisencylinder horizontal in die mittlere Stäbe des Rahmens ein, welche dazu dienen, die Windungen auseinander zu halten, und verschiebt oder verkleinert diese Eisencylinderchen so lange, bis sie eben ausreichen, um die Nadel in der den Windungen parallele Lage zurückzuhalten (Pogg. Ann. LIV. 60).

Hat man den störenden Einfluß der Drahtmassen nicht an und für sich corrigirt, so bleibt nichts übrig, als die Astasie des Nadelpaars so weit zu vermindern, daß die Kurve xoz zu beiden Seiten von o eben über die störende Kurve zu liegen komme. Da es nun aber höchst schwierig seyn dürfte, beim Magnetisiren der Nadeln gerade den richtigen Grad der Astasie zu treffen, so muß man die Regulirung derselben durch einen sogenannten Berichtigungsstab bewerkstelligen. Nobili schlug zuerst vor, sich eines in einiger Entfernung von dem astatischen System passend angebrachten Magneten zu bedienen, um die Astasie nach Bedürfniß bald zu mäßigen, bald zu erhöhen. Am gründlichsten hat Melloni die Anwendung des Berichtigungsstabes studirt und beschrieben. Stellt man einen Magnetstab in der Verticalebene der beiden Nadeln, wenn sie sich in ihrer Gleichgewichtslage befinden, so auf, daß seine Axe zusammenfällt mit der Wagerechten, welche die senkrechte Entfernung der beiden Nadeln halbirt, so wirkt er mit gleichen aber entgegengesetzten Kräften auf beide Nadeln und die Astasie des Systems bleibt unverändert. Hebt oder senkt man den Stab, so wirkt er beschleunigend oder verzögernd auf die Schwingungen des Nadelpaars; man hat auf diese Weise die Regulirung der Astasie ganz in der Hand. Melloni schlägt für den Berichtigungsstab 200^{mm} Länge und 5^{mm} Durchmesser vor; er befestigt ihn auf einem Statif, welches auf- und niedergestellt werden kann, und welches außerdem vermittelst eines Gelenkes verschiedene Neigungen des Stabes gegen den Horizont zuläßt, und stellt ihn so auf, daß die in der Azimuthebene des Nadelpaars befindliche, gegen den Horizont ungefähr um 45^0 geneigte Stabaxe verlängert, den nächsten Pol des astatischen Nadelpaares treffen würde.

Du Bois, welcher sich bei seinen Versuchen meistens des Berichtigungsstabes bediente, hatte ihn in einem Abstande von 4 Decimetern von der Nadel angebracht.

Um das Durchschlagen der Nadeln zu verhüten, sind gewöhnlich an den 90^0 Punkten des Theilkreises Stiftchen eingesetzt, an welchen die obere Nadel anschlägt, sobald die Ablenkung bis zu 90^0 wächst. Du Bois zeigt nun, daß diese Form der Hemmung unzweckmäßig ist, weil das heftige Anschlagen der Nadeln gegen dieselben theils starke Schwenkungen hervorbringt, theils auch den Magnetismus der Nadeln gefährdet; er

wandte deshalb zu den Hemmungen mehrfache Coconfäden an, welche von dem Aufhängepunkte der Nadel aus durch kleine, in der Theilung angebrachte Oeffnungen zu beiden Seiten des Rahmens herabhingen und unterhalb des Spielraums der unteren Nadel durch ein Stück Platindraht beschwert waren. Die Nadel fängt sich in diesen Hemmungen auf die angemessenste Weise.

Bei einem später construirten Multiplicator wurden diese Fäden durch ganz dünne und also sehr leicht biegsame Glimmerblättchen ersetzt, gegen welche die Nadel anschlägt.

Was die näheren Details über Construction, Behandlung, Aufstellung u. s. w. des Multiplicators betrifft, so muß ich natürlich auf Du Bois' Werk verweisen.

281 **Darstellung des Verfahrens, thierische Theile mittelst des Multiplicators auf Stromentwickelung zu untersuchen.** Nachdem wir nun das Wesentlichste über den zu thierisch elektrischen Versuchen anzuwendenden Multiplicator besprochen haben, kommt es nun darauf an, zu sehen, wie man einen Theil des thierischen Körpers, den man auf Stromerregung prüfen will, zwischen die Enden des Multiplicatordrahtes einzuschalten hat, wie man verfahren muß, um sicher zu seyn, daß der am Multiplicator beobachtete Strom auch wirklich von dem thierischen Körper erzeugt sey und nicht irgend andere elektromotorische Kräfte hier thätig sind.

Die Enden des Multiplicatordrahtes werden in der Regel mit Platinplatten versehen, an welchen der Uebergang des Stroms aus den flüssigen oder feuchten Theilen der Kette in das Drahtgewinde stattfindet Hier ist es nun vor allen Dingen höchst wichtig, daß die Platinplatten, so weit es nur irgend zu erreichen möglich ist, gleichartig seyen, denn wenn die geringste Verschiedenheit zwischen den beiden Platten stattfindet, so ist diese die Ursache einer Stromentwickelung, sobald man sie zur Schließung der Kette anwendet; es wird ein Strom entstehen, sobald man die Platten z. B. in ein und dasselbe Gefäß mit Wasser eintaucht. Wenn man nun einen thierischen Körpertheil zwischen zwei solche ungleichartige Platinplatten einschaltet, so ist es offenbar zweifelhaft, in wiefern die beobachtete Ablenkung durch den thierischen Elektromotor oder durch die Ungleichartigkeit der Platinplatten bedingt ist.

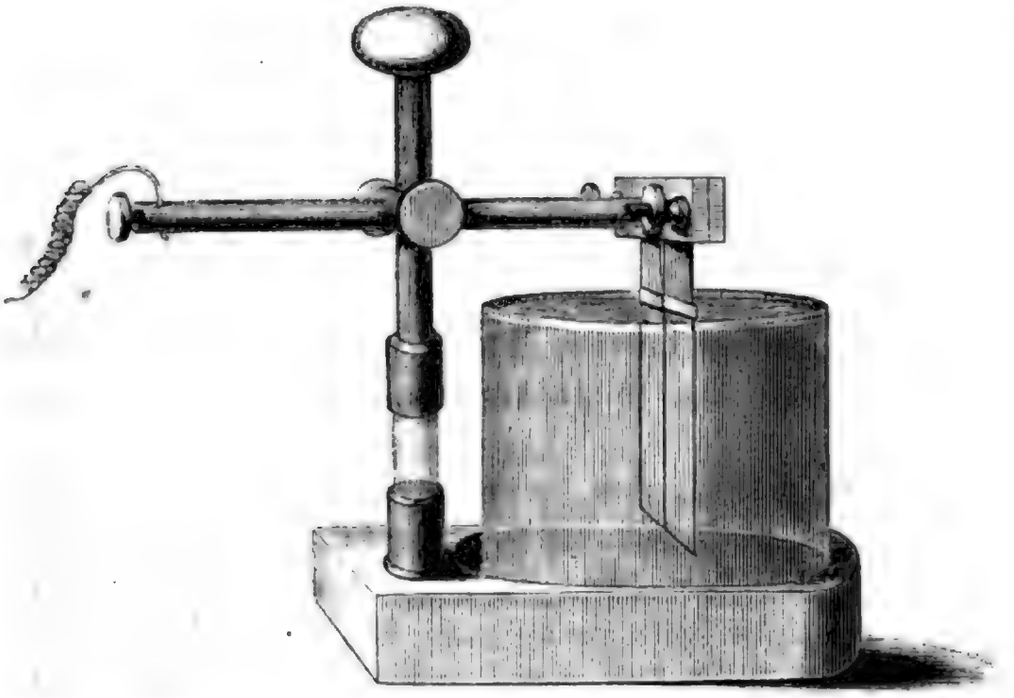
Du Bois reinigt seine Platinplatten, indem er sie der Reihe nach mit Alkohol und Aether, mit Kalihydratlösung und mit Königswasser abwäscht. Zwischen zwei Abwaschungen werden sie mit Wasser abgespült und endlich über einer Weingeistlampe ausgeglüht.

Wenn aber auch die Platinplatten möglichst gleichartig gemacht sind, so entstehen immer noch Ströme durch ungleichzeitiges Eintauchen derse-

ben in die Flüssigkeit. Fechner hat bereits in seinem klassischen Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie (welches den dritten Band seiner Bearbeitung von Biot's Lehrbuch der Physik bildet) auf Seite 466 u. f. zusammengestellt, was damals über die Ströme bekannt war, welche durch ungleichzeitiges Eintauchen sonst gleichartiger Metalle entstehen. Später hat Schröder noch eine ausführliche Untersuchung über diesen Gegenstand in Poggendorff's Annalen publicirt (LIV, 57). Höchst wahrscheinlich ist diese Erscheinung einer Gasschicht zuzuschreiben, mit welcher sich die Platten in der Luft bedecken und welche nach dem Eintauchen in die Flüssigkeit alsbald verschwindet. Der in Folge des ungleichzeitigen Eintauchens hervorgerufene Strom verschwindet aber alsbald wieder, sobald nur die Platinplatten, welche die Enden des Multiplicatordrahtes bilden, durch eine homogene Flüssigkeit zur Kette geschlossen bleiben. Man kann aber auch nur so lange von der Gleichartigkeit der Platten überzeugt seyn, als sie unverrückt in der Flüssigkeit stehen bleiben; der Multiplicator muß also durch die Flüssigkeit fortdauernd geschlossen bleiben, was Du Bois in folgender Weise bewerkstelligt:

In ein rundes Glasgefäß, Fig. 278, von 76^{mm} Durchmesser, hängen

Fig. 278.



zwei Platinplatten herab, welche mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes in leitende Verbindung gebracht werden. (Du Bois fand, daß man mit zwei solchen Platten der Ungleichartigkeiten viel eher Herr wird, als wenn jedes Drahtende des Multiplicators nur mit einer Platte versehen ist.) Diese Platten sind in einer Blechklemme gehalten, die sich am Ende eines horizontalen Messingstabes befindet, der an einem verticalen,

durch ein Glassäulchen isolirten Messingstabe auf und nieder, vor- und rückwärts geschoben werden kann. An dem andern Ende des horizontalen Stabes ist der eine Zuleitungsdraht des Multiplicators eingeschraubt.

Dem andern Ende des Multiplicatordrahtes entspricht ein ganz gleiches Zuleitungsgefäß, in welches zwei Platinplatten in derselben Weise herabhängen. Jedes Platinblech ist 65,5^{mm} hoch und 26,5^{mm} breit. Die Zuleitungsgefäße werden mit einer concentrirten Lösung von Kochsalz gefüllt und dann die Schließung der Kette dadurch bewirkt, daß die beiden Glasgefäße durch ein gleichfalls mit concentrirter Kochsalzlösung gefülltes Heberrohr in Verbindung gebracht werden.

Sind nun die Platten auf diese Weise in die Flüssigkeit getaucht, bei geschlossener Kette gleichartig, so handelt es sich nur darum, die Schließung aufzuheben und zwischen ihnen denjenigen Körper einzuschalten, dessen elektromotorisches Verhalten man untersuchen will. Hier kann man zwei Wege einschlagen: entweder man hebt die Platten aus der Flüssigkeit heraus und legt sie an die thierischen Theile an, oder man läßt sie ruhig in der Flüssigkeit und bringt die Verbindung der beiden Gefäße nach Entfernung des Heberrohrs mittelst der thierischen Theile zu Stande, welche geprüft werden sollen, indem man z. B. die Füße des enthäuteten Frosches in das eine, den Kopf in das andere Glasgefäß taucht.

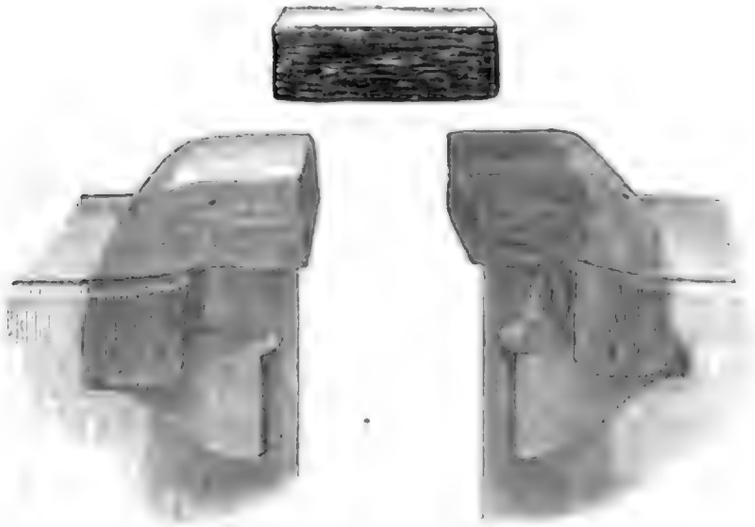
Daß bei der ersteren Methode, der Methode des Anlegens, Ungleichartigkeiten sowohl in der Zeit als der Art der Berührung kaum vermieden werden können, ist klar, die zweite Methode ist demnach bei weitem sicherer.

Um Ungleichheiten zu vermeiden, welche dadurch entstehen könnten, daß die durch Eintauchen des thierischen Körpers gestörte Flüssigkeit gegen die Platinplatten anwogt und hier Stellen trifft, welche vorher nicht benetzt waren, umhüllt Du Bois dieselben mit einem dicht anliegenden Mantel von Fließpapier.

Das unmittelbare Eintauchen der thierischen Theile in die Salzlösung ist nur bei gröberen Versuchen zulässig, weil bei feineren Untersuchungen das Anätzen der thierischen Theile durch die concentrirte Salzlösung störend wirkt. Für diese Fälle wendet nun Du Bois Bäusche von Fließpapier an. Es sind dies Compressen oder Bäusche aus sehr vielen Lagen feinen Fließpapiers, welche, mit der gesättigten Salzlösung getränkt, auf den Rand der Zuleitungsgefäße aufgelegt werden, wie Fig. 279 zeigt. Sie ruhen, außer auf dem Rande der Gefäße selbst, innerhalb derselben noch auf gefirnißten Holzklötzchen, welche an die Wand der Gläser angekittet sind. Man kann diese Bäusche die Zuleitungsbäusche nennen. Die Schließung der Kette wird durch einen dritten, gleichfalls mit der Salzlösung getränkten Bausch, den Schließungsbausch,

bewirkt, welcher auf die Zuleitungsbäusche gelegt wird. Um den auf Elektricitätserregung zu prüfenden thierischen Körper in die Kette einzuschalten, muß man natürlich erst den Schließungsbausch entfernen. Nun

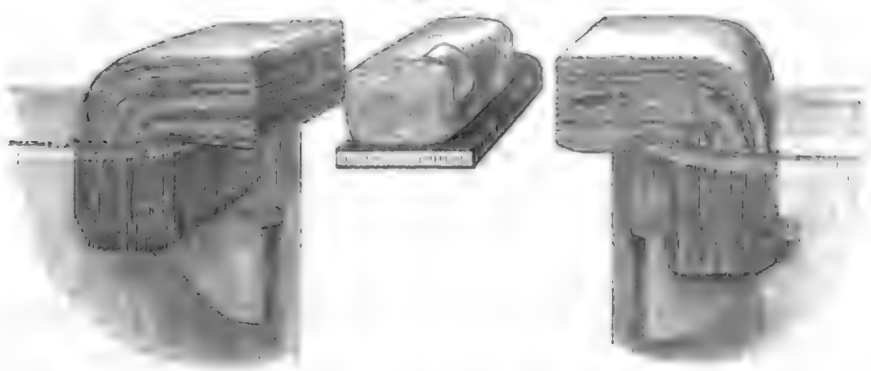
Fig. 279.



darf man aber die thierischen Theile nicht unmittelbar auf die Zuleitungsbäusche legen, weil sonst das erwähnte Anätzen stattfinden würde, welches für sich schon Zuckungen hervorbringen kann. Um diese unmittelbare Berührung zu hindern, legt Du Bois an derjenigen Stelle der Bäusche, wo die thierischen Körpertheile applicirt werden sollen, erst ein sogenanntes Eiweishäutchen auf, d. h. ein Stückchen getrockneter Schweinsblase (20^{mm} lang, 13^{mm} breit), welches in Eiweis vollständig aufgeweicht worden ist. Auf den Bausch kommt also das Eiweishäutchen und auf dieses erst der thierische Elektromotor.

Zu manchen Versuchen ist noch ein Zwischenbausch nöthig, welcher

Fig. 280.



zwischen den Bäuschen der Zuleitungsgefäße in der Weise angebracht ist, wie Fig. 280 zeigt.

Allgemeine Erscheinungsweise der thierisch elektrischen Ströme am Multiplicator. Das Schema eines thierisch elektrischen Versuches 282

am Multiplicator ist folgendes: Die Multiplicatornadel wird durch den Berichtigungsstab auf Null gehalten. Die Zuleitungsgefäße mit den Platinplatten sind ohne den Multiplicator zur Kette geschlossen. Jetzt wird der Multiplicator in die Kette aufgenommen, wobei keine oder nur eine unbedeutende Ablenkung der Nadel erfolgen darf. Der Schließungsbausch wird entfernt, die Zuleitungsbäusche an den entsprechenden Stellen mit dem Eiweishäutchen versehen, und dann abermals der Schließungsbausch aufgelegt, um sich nochmals von der ungestörten Gleichartigkeit der Vorrichtung zu überzeugen. Nach abermaliger Entfernung des Schließungsbausches wird der Zwischenraum zwischen den Zuleitungsbäuschen durch Auflegen des thierischen Elektromotors überbrückt, wie dies später noch specieller wird besprochen werden. Die erste nun folgende Nadelbewegung wird als Ausschlag der Größe und Richtung nach verzeichnet. Beabsichtigt man eine beständige Ablenkung der Nadel, so läßt man sie zur Ruhe kommen, was der starken Ladungen halber, die sich sogleich auf den metallischen Multiplicatorenden entwickeln, viel tiefer stattfindet, als man nach dem Ausschlage zu glauben geneigt seyn möchte. Ist die Wahrnehmung vollendet oder sollte keine beständige Ablenkung abgewartet werden, so entferne man rasch den thierischen Elektromotor aus der Kette. Legt man nun den Schließungsbausch wieder auf, so erfolgt ein dem früheren entgegengesetzter Ausschlag.

Er rührt von einem Polarisationsstrome her, denn der thierisch elektrische Strom, welcher die erste Ablenkung bewirkte, muß nothwendig eine Polarisation der Platinplatten zur Folge haben, deren Entladung nun durch einen entgegengesetzt gerichteten Strom stattfindet, wie wir dies schon Seite 351 gesehen haben.

Die Stärke dieses secundären Stromes ist der des primären proportional.

Diese Bedingungen führen keinen wesentlichen Nachtheil mit, ja sie können manchen nicht unerheblichen Dienst leisten. Vor allem stehen sie als sichere Bürgen da, daß die beobachtete Wirkung in der That von dem eben entfernten Elektromotor herrührte; unverhältnißmäßig starke oder unerwartet schwache Ladungen weisen auf irgend etwas hin, was nicht in der Ordnung ist.

Eine gewöhnliche Art, sich von der Aechtheit der beim Auflegen eines Elektromotors beobachteten Wirkung zu überzeugen, besteht auch darin, denselben später *umzulegen*, d. h. in verkehrter Richtung aufzulegen; die Wirkung muß alsdann gleichfalls ihre Zeichen ändern. — Man kann sich aber zugleich des Umlegens und des Ausschlages der Ladungen bedienen, um sehr schwache Ströme deutlicher sichtbar zu machen, indem man nämlich das Umlegen ausführt, ohne vorher die Ladungen auszugleichen

oder ihnen Zeit zu lassen, bei ungeschlossener Kette sich zu schwächen. Alsdann summiren sich die Wirkungen des primären und secundären Stromes auf die Nadel zu einem viel größern Ausschlage, als der erste war.

Das physiologische Rheoskop. Daß das physiologische Rheoskop in 283
Gestalt des Froschpräparates mit dem Multiplicator wetteifere, so daß noch Nobili ihm den Preis zugestehen mußte, ist bereits erwähnt worden; gegenwärtig hat man es jedoch in der Construction der Multiplicatoren soweit gebracht, daß man ihm diesen Vorrang nicht mehr zugestehen kann. Dessenungeachtet ist das physiologische Rheoskop besonders geeignet, in manchen Fällen wichtige Dienste zu leisten, wir müssen es deshalb auch näher betrachten.

Das physiologische Rheoskop erreicht erst dadurch den hohen Grad von Empfindlichkeit, daß der Strom in einer Strecke seiner Bahn auf den Nerven allein angewiesen sey. Man empfiehlt gewöhnlich, um sich des Frosches als stromprüfenden Mittels zu bedienen, denselben nach Galvani's bekannter Vorschrift zuzubereiten. Du Bois kann diesem Präparate nur noch einen geschichtlichen Werth beilegen. Um das Froschpräparat recht empfindlich zu machen, kommt es darauf an, sich ein möglichst langes Ende Nerv freiliegend zu verschaffen; dies ist bei dem stromprüfenden Froschschenkel der Fall, welcher Fig. 281 abge-

Fig. 281.

bildet ist. Er besteht aus einem bloßen Unterschenkel vom Frosch, an welchem der ganze Verlauf des Nervus ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten ist.

Eine wichtige Vorsichtsmaßregel besteht darin, den stromprüfenden Schenkel bis auf die in den zu untersuchenden Kreis eingeschaltete Nervenstrecke sorgfältig isolirt zu halten, damit man sicher sey, daß weder der eigene Strom des Schenkels, noch sonst ein anderer Strom, als derjenige, dessen Wirkung man eben beobachten will, seinen Weg durch den Nerven nehme.

Auf thierisch elektrische Versuche angewandt, bietet das physiologische Rheoskop zunächst den Vortheil dar, daß es das einzige ist, dessen Anzeigen ohne Einschaltung von Metallen in den Kreis gewonnen werden können. Damit fallen die großen Schwierigkeiten weg, mit denen die Her-

stellung gleichartiger Metallflächen verknüpft ist, dagegen ist das physiologische Rheoskop mit mannichfachen Mängeln behaftet. Es entbehrt zunächst aller Gleichmäßigkeit der Angaben, indem die Reizbarkeit nicht allein bei verschiedenen Froschindividuen sehr ungleich ist, sondern auch mit der Jahreszeit variirt und nach dem Tode rasch abnimmt. Das Froschpräparat antwortet durch Zuckung nur auf den Anfang und das Ende des Stroms, so daß es zweifelhaft bleibt, ob man mit einem stetigen Strom oder nur mit einer augenblicklichen Entladung zu thun habe. Endlich läßt sich aus den Zuckungserscheinungen unter günstigen Umständen zwar ein Schluß auf die Stromesrichtung ziehen, wie wir alsbald sehen werden, allein diese Anzeigen sind doch ziemlich unsicher.

284. **Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom.** Es ist bereits bemerkt worden, daß der stromprüfende Froschschenkel nur auf das Eintreten und Aufhören des Stroms oder, allgemeiner ausgedrückt, nur auf die Schwankungen in der Stromstärke antwortet, sich aber während der Dauer eines gleichbleibenden Stromes ruhig verhält. Dies hat nun Du Bois in präciser Fassung als oberstes Gesetz der elektrischen Reizversuche in folgender Weise ausgesprochen.

Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum andern, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, welche diesen Bewegungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Größe vor sich gingen oder je größer sie in der Zeiteinheit waren.

Ich will versuchen, dieses so wichtige Gesetz durch einige graphische Darstellungen zu erläutern und anschaulich zu machen. Jede der folgenden Figuren zerfällt in zwei Abtheilungen; die untere Kurve stellt das Gesetz dar, nach welchem sich die Stromstärke mit der Zeit ändert, und zwar sind die Abscissen der Zeit, die Ordinaten der Stromstärke, d. h. der Stromdichtigkeit, proportional, welche in dem entsprechenden Augenblick die Kette durchläuft. So sehen wir in Fig. 282 die Stromstärke sehr rasch bis zu einer bestimmten Größe wachsen, welche dann constant bleibt, wie man daraus ersieht, daß die untere Kurve nach raschem Steigen horizontal fortläuft. In Fig. 283 sieht man die Stromstärke von Null bis zu derselben Größe wie Fig. 282, nur etwas langsamer ansteigen.

Die oberen Kurven stellen nun die den unteren entsprechende Zuckungswirkung dar. Diese hängt von der Steilheit der unteren Kurve ab; da wir das Gesetz dieser Abhängigkeit noch nicht kennen, so muß man, um die Zuckungskurven construiren zu können, hier irgend eine Annahme machen

und zwar wollen wir die Zuckungswirkung einfach als proportional der

Fig. 282.

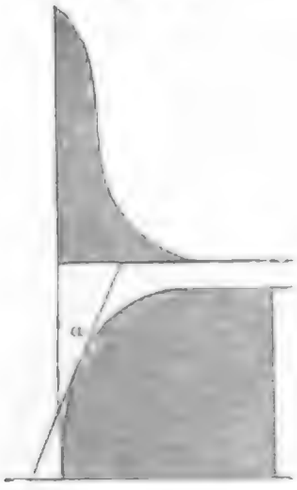
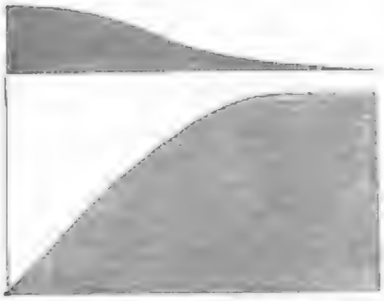


Fig. 283.

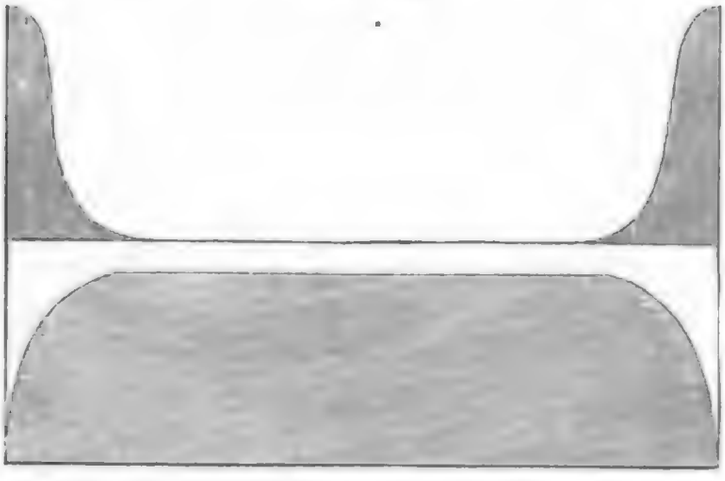


Steilheit der Kurve annehmen, welche die Variationen der Stromstärke ausdrückt. Denken wir uns in irgend einem Punkte *a* der Dichtigkeitskurve eine Tangente an dieselbe gezogen, so wird diese einen Winkel mit der Abscissenaxe machen. Die entsprechende Ordinate der Zuckungskurve ist nun stets der trigonometrischen Tangente dieses Winkels proportional aufgetragen und nach diesem Princip sind dann die sämmtlichen Zuckungskurven construirt.

Vergleicht man die Fig. 282 mit Fig. 283, so sieht man, wie der größeren Steilheit der Dichtigkeitskurve, d. h. dem rascheren Wachsen der Stromstärke, die stärkere Zuckungswirkung entspricht. Von dem Moment an, wo die Stromstärke constant bleibt, ist die Zuckungswirkung gleich Null.

In Fig. 284 sehen wir, wie die Stromstärke von Null bis zu einer

Fig. 284.



bestimmten Größe wächst, dann eine Zeit lang constant bleibt, um alsbald wieder auf Null herabzusinken, wenn der Strom unterbrochen wird. Die Zuckungskurve zeigt uns den Schließungsschlag und den Trennungsschlag, während keine physiologische Wirkung erfolgt, so lange die Stromstärke unverändert bleibt.

Digitized by Google

In Fig. 285 zeigt uns die Dichtigkeitskurve einen ſtarken Strom, welcher eine Zeit lang unverändert fortdauert, um dann etwas anzuwachſen; hier haben wir nur eine ſchwache Zuckungswirkung während der Zunahme an Stromſtärke.

Fig. 285.

Fig. 286.

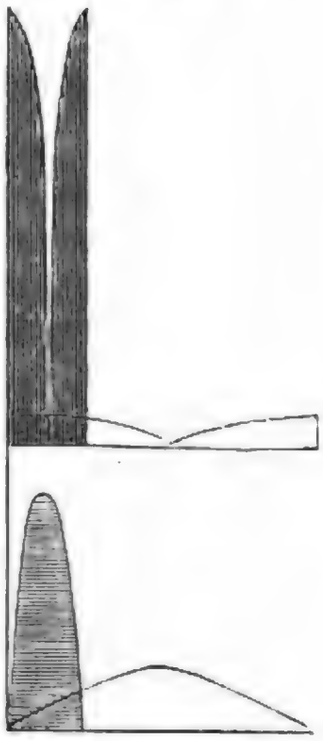


Fig 287.

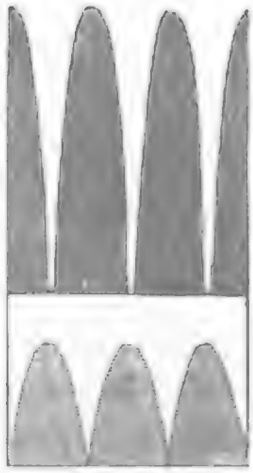


Fig. 286 zeigt uns zwei Dichtigkeits- und zwei entſprechende Zuckungskurven, welche der Entladung (etwa einer Flaſchenentladung) einer und derſelben Elektricitätsmenge entſprechen. Man ſieht, wie der raſcheren Entladung die ungleich größere Zuckungswirkung zukommt.

Fig. 287 endlich zeigt die Zuckungskurve, welche einer Reihe von raſch auf einander folgenden Entladungen entſpricht, wie ſie z. B. bei Inductionsſtrömen ſtattfindet.

Bei mehreren und zwar gerade ſehr wichtigen thieriſch elektriſchen Verſuchen handelt es ſich darum, eine außerordentlich ſchnelle mehr oder weniger große Schwankung der Stromſtärke bemerklich zu machen. Die Beweglichkeit einer Magnetnadel reicht zu dieſem Zwecke nicht mehr aus, während gerade das phyſiologiſche Rheoſkop der oben erwähnten Eigenthümlichkeit wegen in ſolchen Fällen treffliche Dienſte leiſtet, wie wir ſpäter noch in ſpeciellen Fällen ſehen werden.

Nach dieſen Erörterungen wird es wohl nicht zweifelhaft ſeyn, was für ein Urtheil man über diejenigen Unterſuchungen Matteucci's zu fällen hat, welche er in einem Aufſatz: »Mesure sur la force nerveuse développée par le courant électrique« (Annales de Chimie et de Physique

III. Sér. T. XI. pag. 403) veröffentlicht hat und deren Zweck es ist, eine Beziehung zu ermitteln zwischen dem Zinkverbrauch, der zur Hervorbringung eines Stromes nöthig ist, und der mechanischen Wirkung, welche die Zuckung eines Froschschenkels hervorbringt, durch dessen Nerven man jenen Strom leitet. Die Idee, welche diesen Untersuchungen zu Grunde liegt, ist so durchaus falsch, daß ein weiteres Eingehen in die Ergebnisse derselben völlig überflüssig ist.

Vor allen Dingen muß nun bemerkt werden, daß das eben ausgesprochene Gesetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, so sind sie sämmtlich, so weit sie sich überhaupt dem elektrischen Strome unterthan zeigen, neben der auf Schwankungen der Dichtigkeitskurve auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Größe fähig.

Schon Volta spricht von einem eigenthümlichen fortdauernden Gefühl, welches man nach dem Schließen einer Zinksilbersäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. Sehr bekannt ist der heftig stechende, brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautstellen sogar im Kreise der einfachen Kette verspürt.

Eben so anhaltend ist der elektrische Geschmack.

Was den Gesichtssinn betrifft, so scheint Volta nur den Schließungs- und Oeffnungsblitz gesehen zu haben, Ritter hat aber schon mittelst der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet.

Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittelst Sonden in die Ohren einführt, so beobachtet man ein continuirliches Geräusch u. s. w.

Wenn nun aber in den Empfindungsnerven auch der gleichförmig fortdauernde Strom gefühlt wird, so ist doch selbst bei diesen die Wirkung beim Schluß und Oeffnen bedeutend stärker, als die continuirliche.

So zeigt sich denn eine große Aehnlichkeit zwischen der Nervenerregung und der Induction, worauf Marianini zuerst aufmerksam gemacht hat.

Von dem Einfluß der Richtung des Stroms in den Nerven auf die Größe der Erregung. An frisch präparirten Froschschenkeln, welche noch einen hohen Grad von Erregbarkeit besitzen, beobachtet man eine kräftige Oeffnungs- und Schließungszuckung, mag nun die Richtung des Stromes die aufsteigende oder die absteigende seyn. Nimmt aber die Erregbarkeit ab, so sieht man je nach der Strömungsrichtung bald die Oeffnungs-, bald die Schließungszuckung schwächer werden oder ganz verschwinden, während sie bei der entgegengesetzten Stromrichtung noch vorhanden ist. Du Bois hat dies Gesetz der Zuckungen folgendermaßen formulirt. 285

»Man findet in den meisten Fällen und auf der mittle»ren Stufe der Erregbarkeit, daß, je nach der Richtung, in »welcher der Nerv durchflossen wird, bald die Schließungs»und bald die Oeffnungszuckung stärker ausfällt, ja daß »nur die eine und die andere gar nicht zum Vorschein kommt. »Die stärkere Schließungszuckung gehört dem Strome »an, der vom Ursprunge der Nerven nach ihrer Ausbrei»tung gerichtet ist, die stärkere Oeffnungszuckung dem ent»gegengesetzt kreisenden.«

Die einfachste Art, diese Erscheinung zu zeigen, ist folgende: Man hängt das Galvani'sche Präparat auf, wie Fig. 288 zeigt, und läßt jeden Fuß in ein mit Wasser gefülltes Gefäß herabhängen. Jedoch müssen, was in der Figur nicht richtig dargestellt ist, die beiden Beine vollständig von einander getrennt seyn, so daß jedes Bein nur an seinem Nerven hängt und der Strom nicht von einem Bein in das andere gelangen kann, ohne in dem einen Nerven auf-, im andern abzusteigen. In diese Gefäße werden die Poldrähte einer Galvani'schen Kette, etwa eines Bunsen'schen Elementes, eingetaucht. Durch Herausnehmen und wieder Einstecken des einen dieser Drähte aus dem Gefäß kann man nach Belieben die Kette öffnen und schließen. Hat die Empfindlichkeit des Präparats bis zu dem entsprechenden Grade abgenommen, so sieht man beim Schließen nur das eine, beim Oeffnen nur das andere Bein zucken.

Denjenigen Strom, welcher von dem Ursprunge gegen die Ausbreitung der Nerven hin gerichtet ist, kann man kurz den absteigenden nennen, während man als aufsteigenden Strom denjenigen bezeichnet, welcher sich im Nerv von der Ausbreitung gegen den Ursprung hin bewegt.

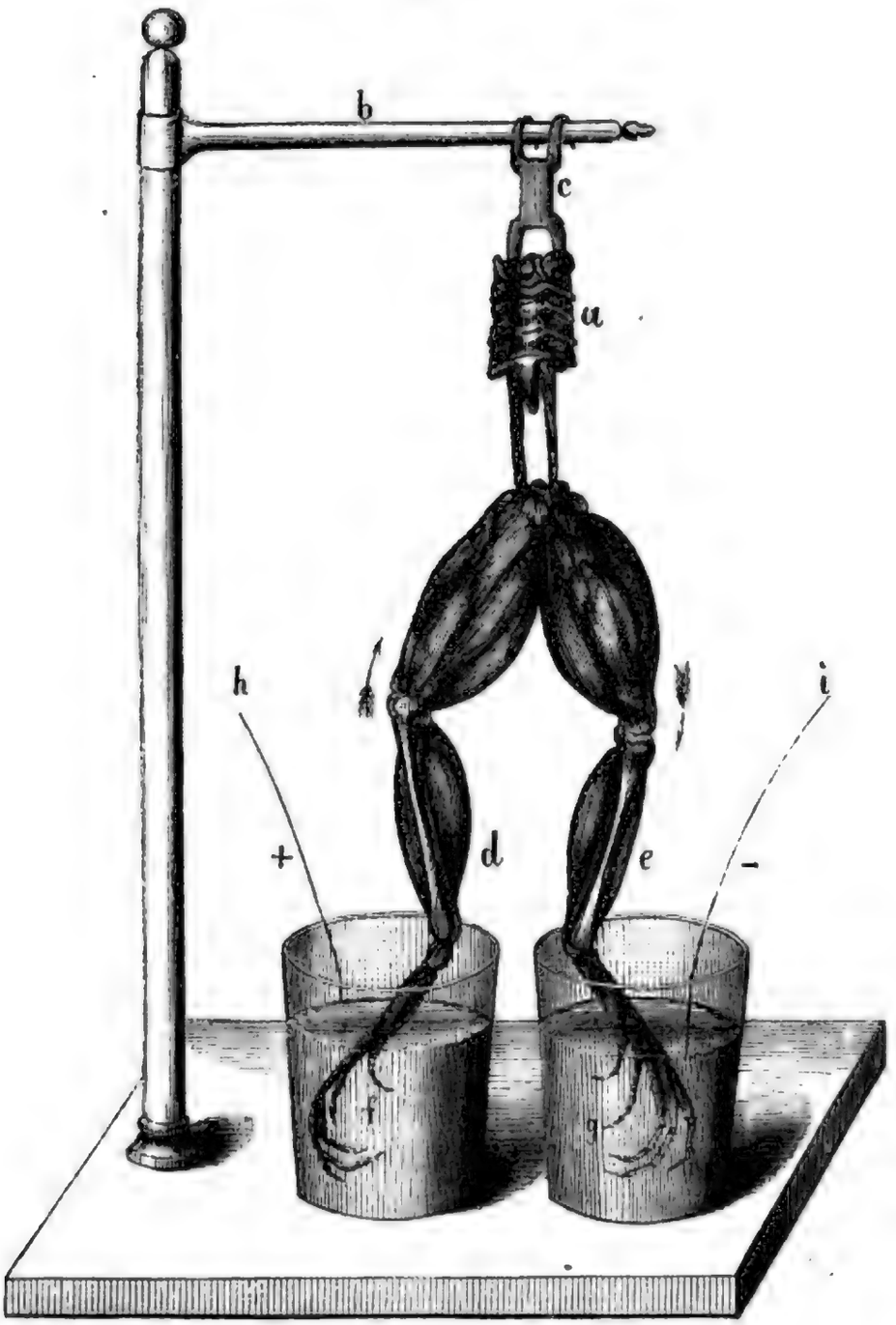
Nach diesem Gesetze kann man die Richtung eines Stromes ermitteln. Wenn der Schenkel beim Schließen zuckt und nicht beim Oeffnen, so hat man mit einem absteigenden Strome zu thun. Bringt man nun den Nerven in entgegengesetzter Richtung in die Kette, so muß der Schenkel jetzt beim Schließen vergleichsweise ruhig bleiben, und zucken, wenn die Kette geöffnet wird.

Die Angaben über Stromesrichtung durch Zuckungen sind jedoch keineswegs so sicher und präcis, wie diejenigen des Multiplicators, indem häufige Unregelmäßigkeiten vorkommen.

Die erste mit dem eben erwähnten Zuckungsgesetz in Beziehung stehende Beobachtung wurde schon von Volta gemacht und zwar zu einer Zeit, wo er sich noch zur Galvani'schen Ansicht über die Ursache der Zuckung des Froschschenkels bekannte. Wie wir bereits Seite 772 gesehen haben,

hat er aber den wahren Zusammenhang seiner Beobachtung noch nicht erkannt, sondern ihm eine unrichtige Deutung gegeben.

Fig. 288.



Als der eigentliche Entdecker der hier in Rede stehenden Gruppe von Thatsachen ist Pfaff zu nennen, der bereits in den Jahren 1793—1795 eine ausführliche und tiefgehende Darstellung derselben gab. Weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand stellten Ritter, Marianini, Nobili, Matteucci und Andere an. Du Bois berichtet sehr ausführlich über diese Arbeiten, er selbst hat über diesen Gegenstand noch keine experimentellen Untersuchungen angestellt.

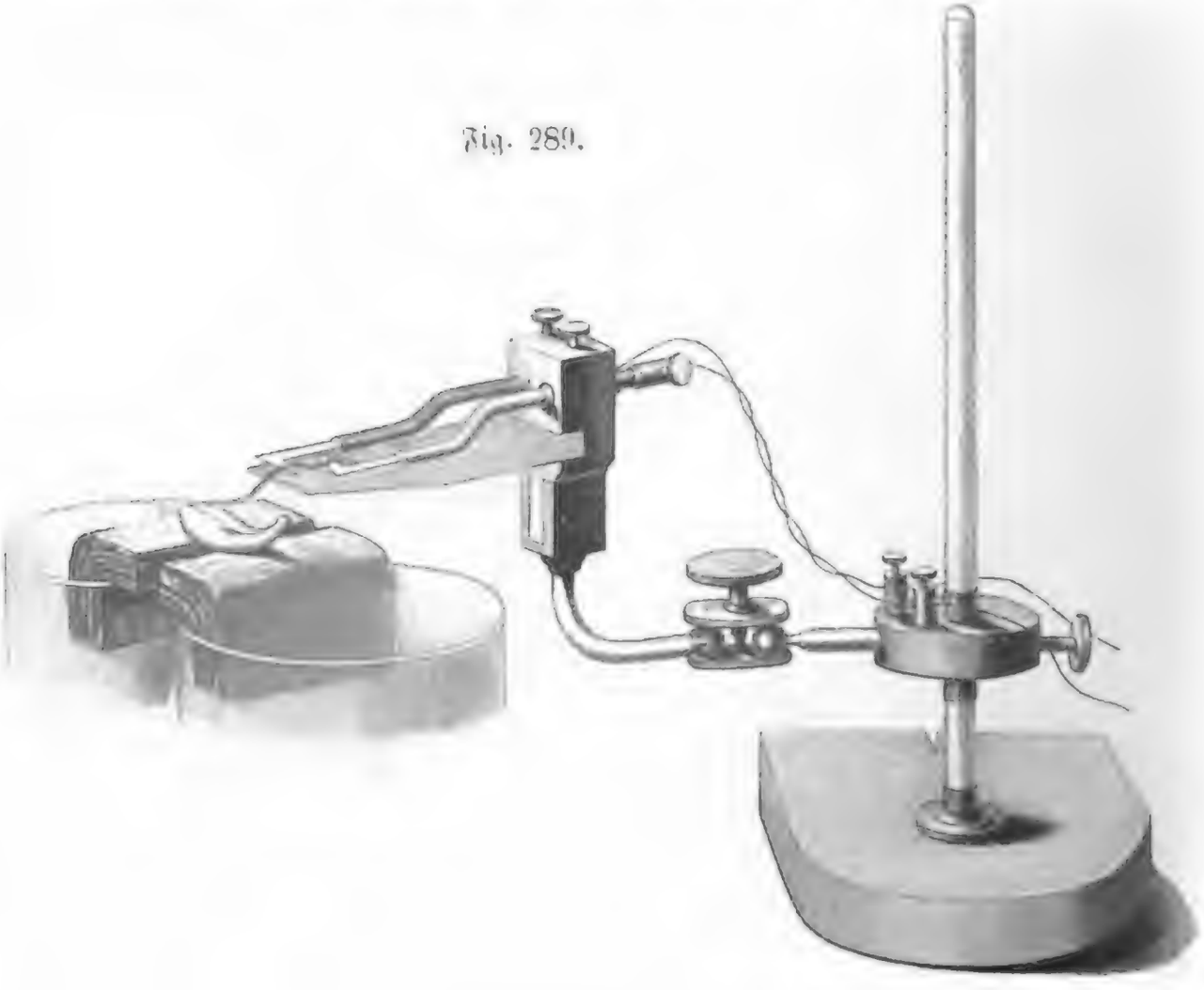
286 **Unipolare Inductionszuckungen.** Es iſt dieſer Erſcheinung bereits früher Erwähnung geſchehen, wir wollen ſie jetzt näher kennen lernen.

Ein 2^{mm} dicker Kupferdraht, welcher in 32 Windungen auf eine Pappröhre von 65^{mm} Durchmeſſer gewunden war, bildete den Hauptdraht des Inductionsapparates, welchen Du Bois zu dieſen Verſuchen anwandte. Auf dieſe war eine Rolle mit 3220 Windungen eines dünnen Kupferdrahtes aufgeſchoben. In die innere Höhlung der Hauptſpirale waren gefirnißte Eiſenſtäbchen eingeſchoben. Der Hauptdraht wurde in den Schließungsbogen einer einfachen Grove'ſchen Kette eingeſchaltet. Die Inductionsrolle war ſorgfältig iſolirt.

Mit dem einen Drahtende der offenen Inductionsſpirale wurde nun der Nerv des ſtromprüfenden Schenkels, im übrigen jedoch ſorgfältig iſolirt, in leitende Verbindung gebracht. Beim Drehen des Unterbrechungsrades, welches in den Hauptſtrom eingeſchaltet war, zuckte nun der Schenkel, wenn entweder das andere Ende des Inductionsdrahtes gut zum Boden abgeleitet war, oder wenn man den Schenkel ſelbſt mit dem Finger ableitend berührte. In letzterem Falle iſt die Zuckung meiſt ſtärker.

Um die Verbindung der Nerven mit dem einen Ende des Inductionsdrahtes herzuſtellen, wandte Du Bois die in Fig. 289 abgebildete

Fig. 289.



Vorrichtung an, die wir später noch genauer werden kennen lernen. Das ganze Statif stand auf einer wohl isolirenden Unterlage. Der Nerv des stromprüfenden Schenkels war auf eines der Platinschäufelchen aufgelegt, welche die Figur zeigt, während das andere zurückgezogen war.

Hat man einen Froschschenkel, der sich auf der geeigneten Stufe der Erregbarkeit befindet, so ist es leicht, mittelst des im vorigen Paragraphen besprochenen Gesetzes der Zuckungen die Art der Elektricität zu bestimmen, welche den Schenkel durchfließt, wobei jedoch die Oeffnung und Schließung des Hauptstroms natürlich nicht allzu rasch auf einander folgen dürfen. Man sieht den Schenkel dann entweder nur bei der Schließung oder nur beim Oeffnen der Kette zucken. Sind beide Enden des Inductionsdrahtes mit solchen Froschschenkeln versehen, so zucken sie complementär, d. h. der eine zuckt, wenn der andere ruhig bleibt, und umgekehrt. Dabei gilt die Regel, denjenigen Schenkel ableitend zu berühren, der nach dem Gesetz der Zuckungen in Ruhe bleiben soll.

Zurückführung des Froschstromes auf einen allgemein vorhandenen Muskelstrom. Die Art und Weise, wie man mit den von Du Bois angegebenen Vorrichtungen den Strom des Gesammtfrosches nachweist, ist folgende: Die Zuleitungsgefäße sind ohne Bäusche und die Kette ist durch das Schließungsrohr geschlossen. Die Platinplatten sind möglichst weit in den Hintergrund der Gläser zurückgezogen. Der enthäutete Frosch wird mit den Füßen bis zur Mitte des Tarsus in das eine Gefäß getaucht, der Rücken gegen das andere Glas hin gewendet; dann wird der Frosch rücklings mit dem Gesicht und der Nasenspitze behutsam in das andere Gefäß gebracht. 287

Augenblicklich verläßt die Nadel den Nullpunkt und fliegt bei einem hinlänglich empfindlichen Multiplicator, wie der Du Bois'sche ist, gegen die Hemmung. Sie zeigt einen Strom im Frosch von den Füßen zum Kopf, im Multiplicatordraht vom Kopf zu den Füßen, also einen aufsteigenden Strom.

Die Nadel kommt alsbald zwischen 10 und 20° zur Ruhe. Von hier an nimmt die Ablenkung langsam ab und hält sich stunden-, ja tagelang innerhalb der ersten 5—8°.

Wird der Frosch entfernt und statt dessen das Schließungsrohr eingesetzt, so fliegt aus bekannten Gründen die Nadel an die entgegengesetzte Hemmung u. s. w.

An diesen Fall schließt sich der zuerst von Nobili am Multiplicator beobachtete Strom des Galvani'schen Präparates an.

Man rückt die Gläser näher und muß nun natürlich auch ein kürzeres Schließungsrohr anwenden. Man taucht die Füße wieder in das eine Gefäß und drückt behutsam das Stück Wirbelsäule in das andere Glas nieder. Im Moment, in welchem die Wirbelsäule die Oberfläche des Salzwassers berührt, erfolgt der Ausschlag der Nadel, während gleichzeitig das Präparat zuckt.

Den gleichen Erfolg am Multiplicator erhält man, wenn man die hintern Extremitäten allein, nach Wegschneiden der Nerven zu diesem Versuch anwendet. Der Ausschlag wird aber jetzt etwas stärker, weil der nicht unbedeutende Leitungswiderstand der Nervenstämme fehlt, dagegen bleibt die Zuckung aus.

Auch Matteucci bediente sich der unteren Extremitäten als Element seiner Froschsäulen; er läßt aber stets den nicht nur unnützen, sondern wegen Vergrößerung des Leitungswiderstandes und aus sonstigen Gründen sogar schädlichen Anhang der Nervenstämme und eines Stückes Wirbelsäule, obschon er dadurch gezwungen wurde, auf Anwendung einer bessern leitenden Flüssigkeit zu verzichten, weil diese durch Anätzen der Nerven störend wirkt.

Der Rumpf für sich gab in derselben Richtung einen, wenngleich schwächeren Strom. Ein aus den vorderen Extremitäten gemachtes, dem Galvani'schen entsprechendes Präparat giebt einen Ausschlag von 40°; der Strom ist in den thierischen Theilen von den Pfoten nach dem Brust- und Schultergerüst gerichtet.

Das einzelne Bein und der einzelne Arm giebt ebenfalls einen Strom, wenngleich schwächer, doch stets in gleicher Richtung.

Du Bois wandte sich nun zur Untersuchung anderer Thiere, da es undenkbar ist, daß, wie Matteucci noch lange glaubte, der Frosch allein mit einem solchen Strome begabt seyn sollte.

Die oben beschriebenen Versuche sind sämmtlich mit rana esculenta angestellt worden, welcher in der Regel zu physiologischen Versuchen verwendet wird. Gleiche Resultate, nur schwächere, geben andere Froscharten, noch schwächer wirken Kröten, welche, wie bereits Humboldt bemerkte, auch durch ihre Trägheit im Antworten auf Galvani'sche Reizung ausgezeichnet sind.

Salamandra maculata und Lacerta agilis gaben Ströme. Das Bein einer Taube gab einen absteigenden, der bloße Unterschenkel hingegen einen aufsteigenden Strom, und zwar wirkt derselbe stärker, als vorher das ganze Bein.

Ein Kaninchenbein giebt einen schwach aufsteigenden Strom u. s. w.

Derselbe Strom, welcher bei den eben besprochenen Versuchen Nadelablenkungen bewirkt, bringt auch physiologische Wirkungen hervor, und diese sind ja bereits von Galvani schon beobachtet worden. Du Bois's Vorrichtungen sind nun sehr geeignet, auch die Zuckungen mit Sicherheit und frei von fremden störenden Einflüssen zu beobachten, welche durch die Ströme des thierischen Körpers und seiner Theile hervorgebracht werden.

Der Strom des Gesammtfrosches kann diesen nicht selbst in Zuckung versetzen, weil er an keiner Stelle auf die Nerven allein angewiesen ist, weil er also in den Nerven nie die Dichtigkeit erreichen kann, welche nöthig ist, um eine Zuckung zu veranlassen. Soll der Strom des Gesammtfrosches eine physiologische Wirkung hervorbringen, so muß man sich des stromprüfenden Froschschenkels als Rheoskop bedienen. Die Anordnung des Versuchs ist folgende: In dem einen Zuleitungsgefäß ist ein Bausch angebracht; 10^{mm} davon befindet sich der Zwischenbausch; der Zwischenraum zwischen beiden ist durch ein Stück des Nerven des stromprüfenden Schenkels überbrückt, der natürlich vor der Berührung mit dem Salzwasser durch Eiweishäutchen geschützt seyn muß. Die Füße des Frosches werden nun in das andere Gefäß eingetaucht, in welchem sich kein Bausch befindet, und das Thier rücklings niedergebogen. In dem Augenblick, in welchem die Nasenspitze den Zwischenbausch berührt, zuckt der stromprüfende Schenkel, der natürlich noch auf dem Gipfelpunkte seiner Erregbarkeit stehen muß. Gleichzeitig erfolgt ein Ausschlag der Multiplicatornadel.

Beim Gebrauche des Galvani'schen Präparates mit seinen Nervenstämmen und dem Stück Wirbelsäule wird der Zwischenbausch und der stromprüfende Froschschenkel entbehrlich, es dient seinem eigenen Strome als Rheoskop; am besten macht man den Versuch auf folgende Weise. Die Füße des Präparates tauchen in das eine Glas, das Becken wird auf eine passende Art unterstützt, und das Stück Wirbelsäule ruht in solcher Entfernung, daß die Nervenstämme schlaff herunterhängen auf dem mit Blase überzogenen Bausche des anderen Gefäßes. In dem metallischen Theile des Kreises, in welchem der Multiplicator auch ganz fehlen kann, befindet sich eine Lücke und hier wird mittelst eines Quecksilbernäpfchens die Kette nach Belieben geöffnet oder geschlossen, wobei denn die Zuckungen erfolgen. Die Oeffnungszuckung wird jedoch nur selten wahrgenommen.

Diese Anordnung ist die vollendetste Form des Galvani'schen Versuchs mit gleichartigem Metallbogen.

Um die Zuckung ohne Metalle durch den Strom des Gesammtfrosches hervorzubringen, gebraucht Du Bois folgenden Kunstgriff: er wendet drei Gläser mit Salzwasser und zwei Frösche an. Die Gläser sind so zusammengestellt, daß sie ein gleichschenkliges Dreieck bilden. Bezeichnen

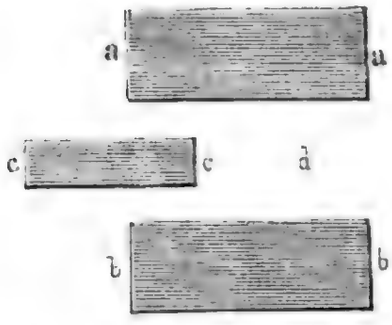
wir mit a und b die beiden Gläſer, welche die kürzere Seite dieſes Dreiecks bilden, ſo ſind dieſe mit Bäuſchen verſehen, ſo daß der Zwiſchenraum zwiſchen denſelben mit dem Nerv des ſtromprüfenden Schenkels überbrückt werden kann. Der eine Froſch bildet nun die Verbindung von a und dem dritten Gefäße c, der andere von b und c und zwar ſo, daß in c der Kopf des einen und die Füße des anderen Froſches eingetaucht ſind. In dem Augenblick, in welchem durch den zweiten Froſch die Kette geſchloſſen wird, zuckt der Schenkel.

Es iſt hier der combinirte Strom beider Fröſche, welcher die Zuckung bewirkt.

Um die Zuckung ohne Metalle mit dem Galvani'ſchen Präparat zu erhalten, iſt das folgende, ſchon von Nobili angewandte Verfahren das zweckmäßigſte. Zwei Präparate werden auf einer iſolirenden Unterlage ſo neben einander gelegt, daß ſie einen einzigen Kreis bilden, in welchem der vereinigte Strom beider wirkſam iſt; hierbei müſſen die Nerven eines jeden Präparates auf die Muskeln des anderen gelegt werden.

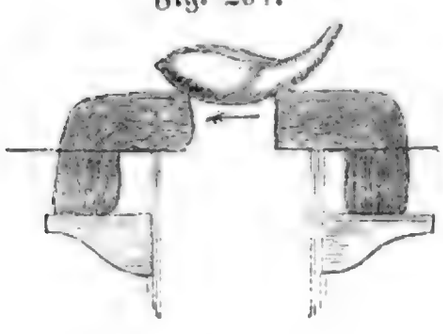
Um durch den Strom, welchen, wie wir bald ſehen werden, der Gaſtroknemius des Froſches liefert, ohne Metalle den ſtromprüfenden Schenkel zum Zucken zu bringen, kann man folgendes Verfahren anwenden. Zwiſchen zwei Bäuſchen, *a* und *b* Fig. 290, iſt der Zwiſchenbauſch *c* auf der einen Seite ſo eingeſchoben, daß auf der anderen Seite der ganze Zwiſchenraum zwiſchen *a* und *b* frei bleibt. Der Zwiſchenraum zwiſchen *a* und *c* wird durch den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels, der zwiſchen *b* und *c* durch den Gaſtroknemius in geeigneter Weiſe überbrückt, und dann die Kette dadurch geſchloſſen, daß man auf der anderen Seite bei *d* die leitende Verbindung zwiſchen *a* und *b* mittelſt eines Schließungsbauſches herſtellt. In demſelben Augenblick, wo dies geſchieht, zuckt der ſtromprüfende Schenkel.

Fig. 290.



288 **Von dem Muskelſtrome.** Schneidet man den großen Wadenmuskel (Gastroknemius) des Froſches, ohne das Fleiſch deſſelben zu verletzen, an dem oberen und unteren ſehnigen Ende los und legt ihn, wie Fig. 291 zeigt, auf die Bäuſche, ſo verläßt augenblicklich die Nadel den Nullpunkt, und fliegt, einen Strom im Muskel von der Achillesſehne zum

Fig. 291.



Kopfe, also in derselben Richtung anzeigend, wie in allen bisher untersuchten Theilen des Frosches, wider die Hemmung. Dasselbe leistet der große Unterschenkelstrecker (extensor cruris) an der vorderen Fläche des Oberschenkels.

Beim Auflegen verschiedener Oberschenkelmuskeln des Frosches auf's Gerathewohl, stößt man zunächst auf ein völlig regelloses Gewirre von Erscheinungen. Von dem einen nämlich erhält man gar keine Wirkung, von dem anderen Wirkung in aufsteigendem, von noch anderen in absteigendem Sinne. Nicht genug, auch ein und derselbe Muskel giebt, je nachdem man ihn auflegt, dieselben wechselnden Erfolge. Dasselbe ist der Fall für die Muskeln anderer, sowohl warm- als kaltblütiger Thiere.

Daraus geht hervor, daß auch wohl bei verschiedenen Muskeln die Verschiedenheit der Wirkungsweise auf der Veränderung der Bedingungen beruhen dürfte, unter denen die Ströme von ihnen gewonnen werden, da es doch wahrscheinlich ist, daß sie alle nach einem und demselben Gesetz elektromotorisch wirken. — Der Froschstrom und die ihm entsprechenden thierisch elektrischen Ströme sind nun auf einen allgemeinen Muskelstrom zurückgeführt; wir dürfen sie bis auf Weiteres als die Resultanten aus den verschieden gerichteten und verschieden starken Partialströmen betrachten, welche im Innern der thierischen Glieder von den einzelnen Muskeln ausgehen. Die scheinbare Beständigkeit der aufsteigenden Strömungsrichtung am Frosche ist somit in eine bloße Zufälligkeit aufgelöst.

Um das Gesetz des Muskelstromes zu finden, untersuchte nun Du Bois das Verhalten eines und desselben Muskels bei veränderter Art des Auflegens auf die Bäusche. Er wählte dazu vorzugsweise solche Muskeln, welche meist gar keinen Strom geben, wenn sie mit ihren sehnigen Enden die Bäusche berühren, wie Fig. 292 darstellt. Um den Muskel auf diese Weise zwischen die Bäusche bringen zu können, wird er von einer vorn zugespitzten Glasplatte getragen, wie man Fig. 293 sieht. Diese Glasplatte ist an einem passenden Statif befestigt.

Fig. 292.

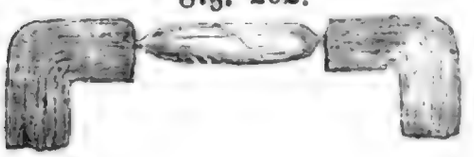
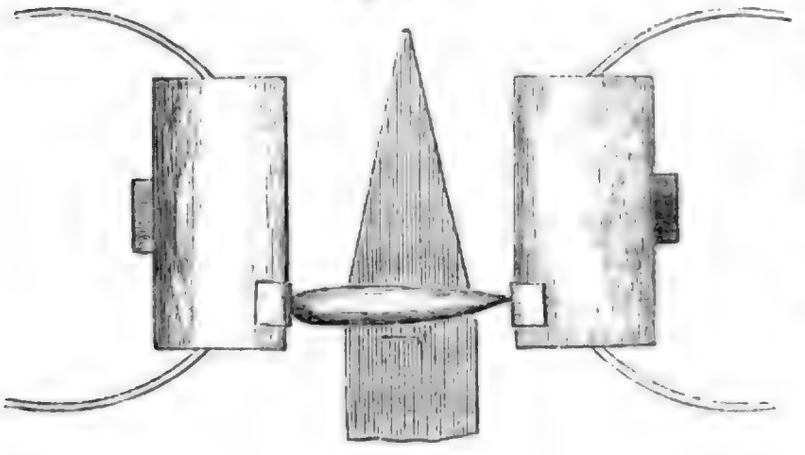


Fig 293.



Am geeignetsten ist zu diesen Versuchen der Musculus semi membranosus.

Bei der eben betrachteten Lage giebt also dieser Muskel keinen oder nur einen sehr schwachen Strom. Hebt man aber nun das eine Ende *b* des Muskels in die Höhe, und schiebt man dann die Gläser zusammen, so daß der eine Bausch das rothe Muskelfleisch berührt, während das sehnige Ende *a* des Muskels gegen den andern Bausch anstößt, wie Fig. 294, so erfolgt ein kräftiger Ausschlag, welcher im Muskel einen Strom vom sehnigen Ende gegen die berührte Stelle des Muskelfleisches anzeigt.

Fig. 294.

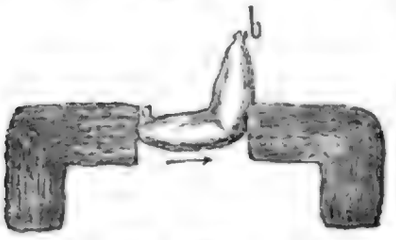
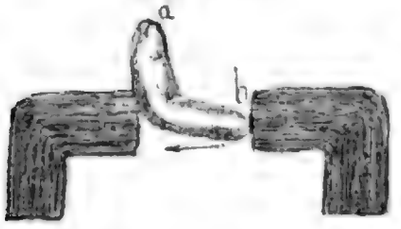


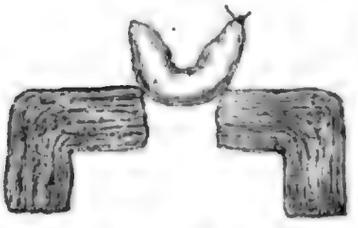
Fig. 295.



Bringt man den Muskel, nach Ausgleichung der Ladungen in die Lage Fig. 295, so erfolgt abermals ein Ausschlag, welcher wiederum einen Strom im Muskel von der Sehne zum Fleisch anzeigt. Ist *a* das Kopfende des Muskels, so hatte man also in dem Fig. 294 dargestellten Falle einen absteigenden Strom, in dem Falle aber, welchem die Fig. 295 entspricht, einen aufsteigenden. Man sieht daraus, daß sich die Bezeichnung des »aufsteigenden« oder »absteigenden« Stromes auf etwas ganz Unwesentliches bezieht.

In der Lage, Fig. 296, wo nur rothes Muskelfleisch auf beiden Seiten die Bäusche berührt, bleibt in günstigen Fällen das Gleichgewicht der Nadel ungestört.

Fig. 296.



Auf den ersten Anblick scheint es, als könne man aus diesen Erfahrungen einen Schluß auf die Ungleichartigkeit des rothen Fleisches und des Sehnengewebes an den Enden der Muskeln ziehen; wir werden jedoch bald sehen, daß dies nicht der Fall ist, daß vielmehr die Sehne hier die Rolle eines unwirksamen leitenden Ueberzuges spielt.

Stellt man nämlich an einem in warmem Wasser oder in verdünntem Alkohol erhärteten Muskel durch Zerreißen oder Zerschneiden in der Richtung der Fasern einen Längsdurchschnitt derselben dar, wozu sich der Wadenmuskel oder der große Unterschenkelstrecker abermals vorzüglich eignen, so gewahrt man bald, daß der sehnige Ueberzug, die Achillessehne z. B., sich kaum über die Punkte hinaus erstreckt, wo sich an denselben die Enden der Primitivmuskelbündel anzusetzen aufhören. Ein Blick auf Fig. 297 lehrt, daß die Sehne *ab* betrachtet werden könne als ein Ueberzug über den natürlichen Querschnitt des Muskels, wenn man unter seinem Querschnitt eine so beschaffene Flächenbegränzung verstehen will, daß da-

Fig. 297.

rin nur Grundflächen der als Prismen oder als Cylinder gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Eben so sieht man, daß alsdann das, was wir bisher als rothes Fleisch bezeichneten (*bc*), als der natürliche Längsschnitt des Muskels angesehen werden muß, wenn wir nämlich unter einem Längsschnitt eine so beschaffene Flächenbegränzung an demselben verstehen wollen, daß darin nur Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder als Prismen gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Die Annahme, daß diese beiden Flächenbegränzungen am Muskel, sein natürlicher Längsschnitt und sein natürlicher Querschnitt sich untereinander ungleichartig verhalten, reicht nun zur Erklärung der eben angeführten Erscheinungen aus, wenn man die Sehnen als einen indifferenten leitenden Ueberzug betrachtet.

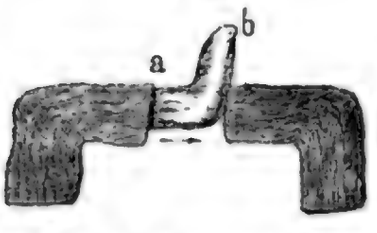
Es ist nun unwahrscheinlich, daß die Ungleichartigkeit des natürlichen Querschnittes, wenn es wirklich eine solche giebt, nur an der Oberfläche desselben haften solle. Es ist vielmehr viel ansprechender, sich zu denken, daß sie nichts als der Ausdruck der Ungleichartigkeit des Inneren aller Primitivmuskelbündel gegen ihr Aeußeres sey. Ist dies der Fall, so muß sich auch ein künstlicher Querschnitt ähnlich verhalten, wie der natürliche Querschnitt.

Schneidet man einen Muskel mit einer scharfen Scheere quer durch, so verhält sich in der That dieser künstliche Querschnitt in allen Fällen ganz so wie der natürliche mit der Sehne bekleidete Querschnitt in den Fig. 294 bis Fig. 296 dargestellten Fällen. Der von zwei künstlichen Querschnitten begränzte mittlere Theil des Muskels in der Fig. 298 dargestellten Weise zwischen die Bäusche gebracht, giebt keinen Strom, oder doch nur schwache Wirkungen, bald in der einen, bald in der anderen Richtung, was daher rührt, daß es sehr schwer hält zu verhindern, daß nicht auf der einen oder anderen Seite die Kante zwischen dem künstlichen Querschnitt und dem natürlichen Längsschnitt sich etwas umlege, so daß auch einige Punkte der Mantelfläche der äußeren Muskelfasern mit dem Bausch in Berührung kommen.

Fig. 298.

Diese Wirkungen sind jedoch verschwindend gegen diejenigen, welche die Anordnung, Fig. 299, bei welcher einerseits der künstliche Querschnitt, andererseits der natürliche Längsschnitt an den Bäuschen anliegt, hervorbringen; hier fliegt die Nadel, wenigstens bei dickeren Muskeln, gegen die Hemmung, stets einen Strom im Muskel vom künstlichen Querschnitt zum natürlichen Längsschnitt anzeigend.

Fig. 299.



Da also der natürliche Querschnitt durch einen künstlichen Querschnitt

ersetzt werden kann, so ließ sich erwarten, daß auch der natürliche Längsschnitt durch einen künstlichen Längsschnitt ersetzt werden könne, welchen man durch eine Spaltung des Muskels in der Richtung der Fasern erhält.

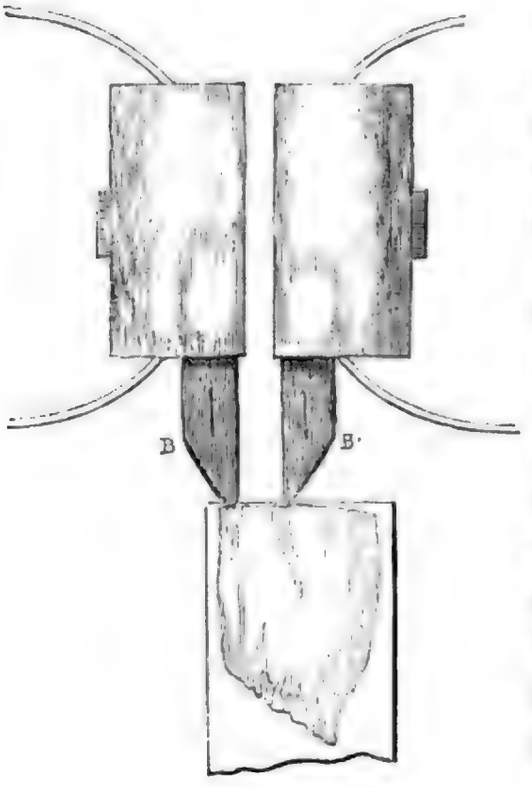
Der Versuch zeigt nun, daß sich der künstliche Längsschnitt elektromotorisch gerade ebenso verhält, wie der natürliche Längsschnitt.

So ist denn durch die bisherigen Versuche die Thatsache erwiesen, daß jeder Punkt eines natürlichen oder künstlichen Längsschnittes am Muskel sich positiv verhält gegen einen Punkt am natürlichen oder künstlichen Querschnitt.

Es ist aber nun zu untersuchen, wie sich verschiedene Punkte desselben Querschnittes zu einander verhalten, ebenso, ob verschiedene Punkte desselben Längsschnittes elektromotorisch gleichartig sind oder nicht.

Die Muskeln des Frosches sind zu klein, um das elektromotorische Verhalten verschiedener Punkte desselben Querschnittes gegen einander zu untersuchen. Du Bois wählte zu dieser Untersuchung Muskeln vom Kaninchen; am tauglichsten dazu ist der Triceps femoris. Der Querschnitt wird mit einem möglichst scharfen Instrument dargestellt, wobei alles Sägen zu vermeiden ist, damit er ganz rein sey und nicht treppenförmige Absätze zeige. Die Art, wie der Versuch angestellt wird, ist aus Fig. 300 ersichtlich. Die Hülfsbäusche *B* und *B'*, welche nur aus wenigen Lagen Fließpapier bestehen und gleichfalls mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt sind, werden mit ihren breiteren Enden entweder zwischen die Lagen der gewöhnlichen Bäusche eingeklemmt oder sie werden nur auf dieselben aufgelegt; ihre Spitzen werden dann, wie es die Figur andeutet, mit verschiedenen Punkten des Querschnittes in Berührung gebracht.

Fig. 300.



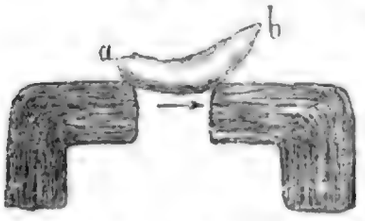
Das Ergebniß dieser Untersuchung ist nun wirklich Ungleichartigkeit der verschiedenen Punkte des Querschnittes. Es verhalten sich nämlich solche Punkte, welche der Mitte des Querschnittes näher liegen, elektromotorisch negativ gegen solche, welche weiter von derselben entfernt sind.

Der Strom, welchen man von zwei verschiedenen Punkten des Querschnittes erhält, ist übrigens weit schwächer als der, welchen man erhält, wenn man eine leitende Verbindung zwischen einem Punkte des Querschnittes und einem Punkte des Längsschnittes herstellt. Während im letzteren Falle die Nadel an die Hemmung fliegt, beträgt hier der Ausschlag nur 10 bis 25 Grad.

Der natürliche Querschnitt zeigt ganz dasselbe Verhalten, wie der künstliche, wie dies Du Bois durch Versuche am Sehnenspiegel mehrerer Muskeln vom Kaninchen nachgewiesen hat.

Ebenso sind auch die verschiedenen Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Muskels keineswegs unter sich gleichartig. Wenn die beiden auf die Bäusche aufgelegten Punkte des Muskels gleichweit von der Mitte desselben abstehen, so erhält man keine oder doch nur eine ganz schwache Wirkung, wie wir bereits oben gesehen haben; legt man aber den Muskel so auf, daß der eine berührende Punkt weiter von dem mittleren Querschnitt des Muskels entfernt ist, als der andere, wie dies Fig. 301 zeigt, so erhält man stets einen Strom, welcher im Muskel von dem näher gegen das Ende desselben liegenden Berührungspunkte gegen den anderen hingeht; an der äußeren Mantelfläche des Muskels sind also alle Punkte, welche dem mittleren Querschnitt näher liegen, positiv gegen solche Punkte, welche dem Ende des Muskels näher sind.

Fig. 301.



Die Stärke der Ströme, welche von zwei verschiedenen Punkten des Längsschnittes eines Muskels erhalten werden, ist gleichfalls weit geringer, als die Stärke derjenigen Ströme, welche vom Längsschnitt zum Querschnitt gehen.

Dies sind die Grundzüge des von Du Bois ermittelten Gesetzes des Muskelstromes, durch welches die Elektrophysiologie auf einen ganz neuen Standpunkt gehoben worden ist.

Das Gesetz des Muskelstromes ist nicht etwa an einzelne Thiergattungen gebunden, es ist, nach Du Bois's Versuchen, über das ganze Thierreich verbreitet. Er hat die Negativität des künstlichen Querschnittes gegen den natürlichen Längsschnitt beobachtet an Muskeln vom Menschen (Muskeln eines eben amputirten Beines), vom Kaninchen, vom Meerschweinchen, von der Hausmaus, — der Taube und dem Sperling; — der Schildkröte, Eidechse, Ringelnatter, Blindschleiche, verschiedenen Arten von Fröschen und Kröten, dem Erd- und dem Wassermolch; — vom Schley, Flußkrebs und Regenwurm. Bei letzterem wurden die ganzen Stücke des walzenförmigen Körpers ohne weiteres als Muskel aufgelegt.

289 **Zur Geschichte des Gesetzes des Muskelstroms.** Ohne Zweifel gebührt keinem Anderen als Du Bois die Ehre als Entdecker des Gesetzes des Muskelstromes genannt zu werden, denn er ist es, welcher zuerst einem bloßen Stücke Muskel einen Strom entlockte, welcher den Gegensatz des natürlichen oder künstlichen Querschnittes zum natürlichen oder künstlichen Längsschnitt nachgewiesen hat. Diese Nachweisung findet sich bereits in seinem »vorläufigen Abrisse.« Die Differenzen zwischen verschiedenen Punkten desselben Querschnittes oder verschiedenen Punkten desselben Längsschnittes hatte er damals noch nicht ermittelt.

Sehen wir nun, was Matteucci auf diesem Felde geleistet hat. Im September 1841 machte er in den Comptes rendus die Beobachtung bekannt, daß, wenn der innere Theil eines lebenden oder fast lebenden Muskels durch einen Galvanometerdraht oder durch den Nerv eines stromprüfenden Froschschenkels mit irgend einem anderen Theile desselben Thieres, der Oberfläche des Muskels, der Haut u. s. w. in Verbindung gebracht wird, ein Strom entsteht, welcher im Thiere von dem muskulösen Theile zu dem geht, welcher es nicht ist.

Am 21. Februar 1842 und am 17. October desselben Jahres machte Dumas der Pariser Akademie weitere Mittheilung über Matteucci's Beobachtung der Negativität des Muskelinnern; in der ersten dieser Mittheilungen wird gesagt, daß der Strom im Thier vom Innern des Muskels oder vom Nerv zu seiner Oberfläche oder seiner Sehne gerichtet sey.

Man sieht hieraus, wie weit Matteucci noch von der richtigen Erkenntniß des Gesetzes des Muskelstromes entfernt war, daß er keine Ahnung hatte von dem Gegensatze der Mantelfläche und des Querschnitts der Primitivmuskelbündel. Er gab den von ihm gemachten Beobachtungen sogleich eine falsche Deutung und wußte sie nicht bis zur Ermittelung des wahren Zusammenhanges zu verfolgen. In der zweiten Mittheilung, welche Dumas der Akademie über Matteucci's Arbeiten machte, ist nur die Rede von den Zuckungen des stromprüfenden Schenkels, welche man erhält, wenn man seinen Nerv in die Wunde eines bloßgelegten, transversal durchschnittenen Brust- oder Schenkelmuskels einer Taube einführt.

Im November desselben Jahres publicirte Matteucci einen Aufsatz, in welchem er über eine Säule von Froschschenkeln berichtet. Die Schenkel allein, ohne Nerven und Unterbein, wurden quer durchschnitten und die Säule so zusammengesetzt, daß die innere Muskelfläche eines jeden mit der äußeren Fläche des folgenden Stücks in Berührung kam. Der Strom war im Muskel stets von der inneren zur äußeren Muskelfläche gerichtet. — In diesem Aufsatze findet sich denn untern anderen auch

wieder die schon oben erwähnte Identificirung von Nerv und Muskelinnerem gegenüber von Sehne und Muskeloberfläche ausgesprochen.

Vergleicht man den Gang dieser Untersuchungen mit dem der Du Bois'schen, so wird wohl schwerlich ein Zweifel gegen die Selbstständigkeit der Arbeiten Du Bois's aufkommen können.

Gehen wir nun zu denjenigen Untersuchungen über, welche Matteucci in Betreff unsers Gegenstandes nach dem Erscheinen von Du Bois's „vorläufigem Abriß" publicirt hat. Die bis zum Jahre 1844 erhaltenen Resultate finden wir in seinem Traité u. s. w. zusammengestellt.

Hier erfährt man Näheres über die Größe der Wirkungen, die er mit seinen Schenkelsäulen am Multiplicator hervorbrachte. Eine Säule von 3 halben Oberschenkeln des Frosches ergab 15° Ausschlag, als Wasser, 35°, als eine Kochsalzlösung, die Zuleitungsflüssigkeit war. Bedenkt man, daß bei den von Du Bois angewandten Vorrichtungen ein einziger Muskel die Nadel an die Hemmung warf, also eine ungleich größere Wirkung hervorbrachte, als Matteucci mit ganzen Schenkelsäulen erreichen konnte, so ist dieser Vergleich wohl geeignet, die bedeutende Ueberlegenheit der Du Bois'schen Methode zu experimentiren über die rohen Versuche, mit welcher Matteucci auftritt, darzuthun.

Eine große Verwirrung hat Matteucci dadurch angerichtet, daß er lange Zeit einen Unterschied zwischen Froschstrom und Muskelstrom machte. Diese Unterscheidung spricht er selbst in seinem Traité, also im Jahre 1844 noch aus. Er stellt hier noch die Behauptung auf, alle Thiere besäßen einen Muskelstrom; nur der Frosch sey außerdem noch mit einem ohne nachweisbaren Grund in allen Theilen desselben vorhandenen aufsteigenden Strom ausgestattet, welcher der Froschstrom genannt wird.

Erst im März 1845 sieht er die Einerleiheit des Frosch- und Muskelstromes ein und lernt die Negativität der Sehne kennen, er publicirt sie im Jahre 1846 dreimal hinter einander, als das wichtigste Ergebniß seiner neuesten Untersuchungen, obgleich er vom September 1845 an eingestandenermaßen Du Bois's Abhandlung kennt.

Erörterung des elektromotorischen Wirkungsgesetzes des Muskelgewebes. Wir haben gesehen, daß ein Muskel elektromotorische Wirkungen giebt, er mag von künstlichen oder natürlichen Längs- oder Querschnitten begränzt seyn; wir haben ferner gesehen, daß auch ein nur von künstlichem Längs- und Querschnitt begränztes Muskelstück auch noch elektromotorisch wirkt. Es ist nun zu untersuchen, welches die elektromotorischen Elemente sind, aus denen der Muskel zusammengesetzt ist. In dem »vorläufigen Abriß«, erwähnt Du Bois Versuche, die 290

er mit Muskelfetzchen anstellte, die oft nur aus 10 bis 15 Primitivmuskelbündeln bestanden und welche in ihren wirksamen Lagen 8 bis 10 Grad Ausschlag, durch Umlegen 15 bis 18 Grad gaben. Später ist es ihm geglückt, von einem einzigen wirksam aufgelegten Primitivmuskelbündel 8 bis 10 Grad Ausschlag zu erhalten.

Dies ist der Punkt, bis zu dem es verstattet ist, mit der unmittelbaren Beobachtung vorzudringen. — Wir werden dadurch zu der Annahme geführt, daß es das Primitivmuskelbündel ist, in welchem der Strom erzeugt wird.

Es ist nun zu untersuchen, wie wohl die ungleichartigen Bestandtheile in dem Primitivmuskelbündel angeordnet seyn müssen, damit dasselbe die Erscheinungen hervorbringe, welche wir bereits kennen gelernt haben. Es fragt sich, ob es nicht möglich ist, eine Vorrichtung zu construiren, mittelst deren man alle die elektrischen Erscheinungen des Muskels nachahmen kann?

Auf den ersten Blick scheint folgende Vorrichtung diese Bedingung zu erfüllen. Man denke sich einen durch und durch kupfernen, am Mantel verzinkten, an den Grundflächen roth gebliebenen Cylinder. Legt man einen, aus einem feuchten Leiter bestehenden Bogen mit einem seiner Enden an den Mantel, mit dem andern an eine der Grundflächen dieses Cylinders an, so wird man stets einen Strom haben, der in dem Schließungsbogen vom Mantel zur Grundfläche geht. Schneidet man den Cylinder senkrecht auf die Axe durch, so leistet jedes Bruchstück dasselbe.

Soweit leistet die Anordnung, was sie soll; allein die feineren Züge der Erscheinung, welche wir am Muskel kennen lernten, kann sie nicht hervorbringen. Berührt nämlich der Bogen zwei Punkte der Mantelfläche allein, so wird kein Strom entstehen; eben so wenig, wenn man zwei Punkte der Grundfläche allein berührt, während wir doch im Muskel schwache Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes sowohl, wie zwischen verschiedenen Punkten des Querschnittes gefunden hatten.

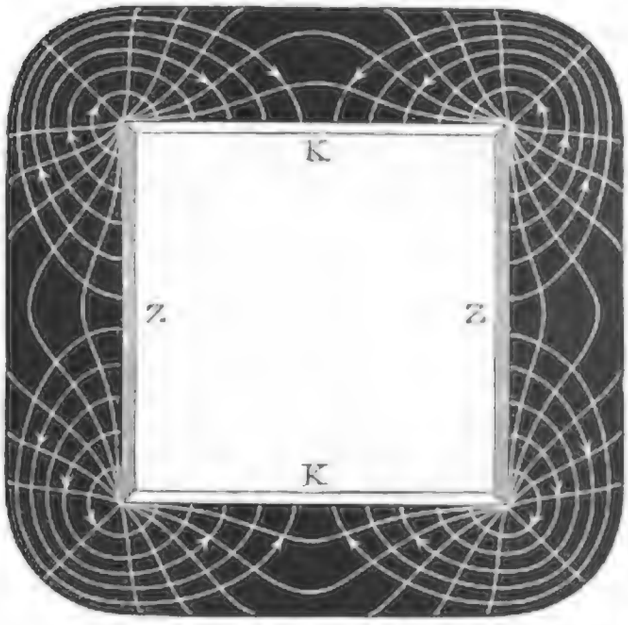
Um der Forderung zu entsprechen, daß das künstliche Schema auch solche Ströme gebe, müssen wir uns den eben besprochenen kupfernen, am Mantel verzinkten Cylinder ringsum von einem feuchten Leiter umgeben denken, welcher auf allen Punkten eine Schicht von gleicher Höhe bildet.

Von einem solchen flüssigen Leiter umgeben, wird an unserm Zinkkupferschema ein beständiger Strömungsvorgang stattfinden; es werden beständig Ströme von den verschiedenen Punkten des verzinkten Mantels durch die Flüssigkeit zum kupfernen Querschnitt gehen. Stellt man nun außerhalb eine leitende Verbindung zwischen zwei verschiedenen Punkten der Oberfläche der feuchten Hülle her, so wird dadurch eine Nebenschlie-

ßung hervorgebracht. Die in dieser Nebenschließung cursirenden Ströme sind es denn, welche, wenn sich diese Ansicht bewährt, den Strömen entsprechen, welche wir in den, an verschiedenen Punkten des Muskels angelegten Schließungsbogen beobachteten.

Fig. 302 stellt den Durchschnitt eines Kupferzinkschemas dar, welches ringsum mit einer flüssigen Hülle umgeben ist. Beim Entwerfen der Figur ist die Höhe des metallischen Cylinders seinem Durchmesser gleich angenommen worden. Die von den Zinkseiten zu den Kupferflächen gehenden (durch kleine Pfeilspitzen bezeichneten) Linien stellen die Strömungskurven dar, d. h. die Linien, nach welchen ungefähr die von verschiedenen Punkten der Zinkseiten ausgehenden positiven Ströme durch die flüssige Hülle zu den entsprechenden Punkten der Kupferflächen übergehen.

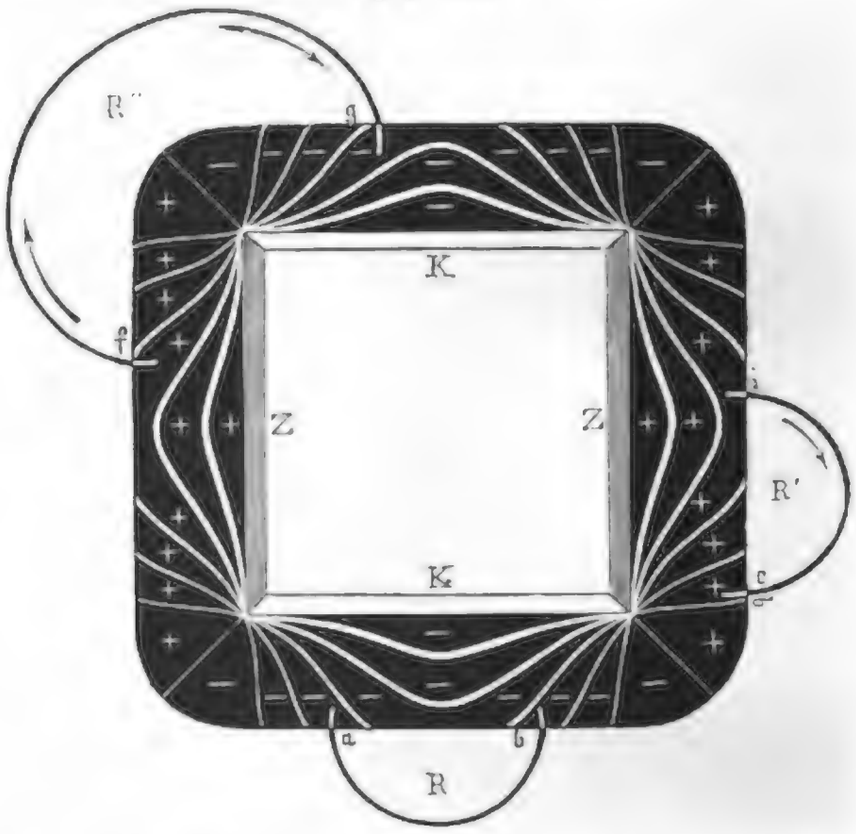
Fig. 302.



Mit Hülfe der Strömungskurven kann man nun auch den ungefähren Lauf der Kurven gleicher elektrischer Spannung in der Flüssigkeit verfolgen, welche Du Bois isoelektrische Kurven nennt. — Zwischen der Zinkfläche und der Kupferfläche unsers Schemas wird nämlich stets ein bestimmter elektrischer Gegensatz stattfinden. Betrachten wir nun irgend eine Strömungskurve, welche einen Punkt der Zinkseite mit einem Punkte der Kupferfläche verbindet, so ist klar, daß in der Mitte dieser Kurve die elektrische Spannung gleich Null ist. Von diesem neutralen Punkte an nimmt aber die positive Spannung auf derselben Strömungskurve um so mehr zu, je mehr man sich der Zinkseite nähert, während auf der anderen Seite mit der Annäherung gegen die Kupferfläche die negative Spannung zunimmt. Denken wir uns nun ein zweites Kurvensystem so gelegt, daß die neuen Kurven die Strömungskurven rechtwinklig schneiden, wie dies in der Figur wirklich ausgeführt ist, so sind dies die isoelektrischen Kurven, d. h. diejenigen, welche die Punkte gleicher elektrischer Spannung in der Flüssigkeit mit einander verbinden. In Fig. 303 (s. f. S.) sind die isoelektrischen Kurven allein ohne die Strömungskurven verzeichnet, und zwar sind sie um so stärker ausgezogen, je größer an der entsprechenden Stelle die elektrische Spannung ist. Die

Natur der elektriſchen Spannung an verſchiedenen Punkten der Flüſſigkeit iſt durch + und — bezeichnet.

Fig. 303.



Mit Hülfe dieſer Figur kann man leicht überſehen, was erfolgen wird, wenn man einen leitenden Bogen an verſchiedenen Stellen der feuchten Hülle anlegt.

Iſt der Schließungsbogen ſo angelegt, wie *R*, daß ſeine Enden *a* und *b* gleichweit abſtehen von der Mitte der berührten Seite, ſo kann kein Strom in dieſem Schließungsbogen entſtehen, weil bei *a* und bei *b* gleiche Spannung der gleichen Elektricität ſtattfindet. — Wird der leitende Bogen aus der Mitte weggerückt, wie dies bei *R'* der Fall iſt, ſo iſt die Dichtigkeit der Elektricität an den beiden Fußpunkten des Bogens nicht mehr dieſelbe; zwar findet ſich dieſelbe Elektricität bei *c* und bei *d*, nämlich poſitive, da aber bei *d* eine ſtärkere Spannung herrſcht, ſo muß nothwendig ein Strom von *d* nach *c* entſtehen.

Weit ſtärker wird der Strom werden müſſen, wenn der eine Fußpunkt des leitenden Bogens über die Kupfer-, der andere über die Zinkſeite zu ſtehen kommt, wie dies bei *R''* der Fall iſt, denn *f* berührt an einer Stelle wo ſich poſitive, *g* an einer Stelle wo ſich negative Elektricität vorfindet.

Du Bois hat nun dieſe Folgerungen auch durch das Experiment zu beſtätigen geſucht. Nach mehreren anderen Verſuchsformen kam er auf folgende, welche die Erſcheinungen des Muskelſtroms ſehr treu darſtellt. Ein Cylinder von Kupferblech, deſſen Mantel verzinkt war, während ſeine

Grundflächen roth blieben, hatte eine Höhe von 155^{mm} und einen Durchmesser von 55^{mm}. Das Zink an seinem Umfange war amalgamirt. Er hing mittelst eines wohlgefirnißten Hakens an einer Schnur in einem mit Wasser gefüllten cylindrischen Glase von 90^{mm} Durchmesser, Fig. 304.

Fig. 304.

Der Halter, welcher den Cylinder trug, führte zugleich eine Klemme, welche einen doppelt durchbohrten Kork enthielt. In jeder Durchbohrung ließ sich ein Glasrohr auf- und niederschieben, in welches ein übersponnener Kupferdraht eingekittet war. An dem unteren Ende des Drahtes war eine quadratische Platinplatte von 15^{mm} Seite angelöthet. Es versteht sich von selbst, daß der aus dem Glasrohr hervorragende Theil des Kupferdrahtes sammt der Löthstelle hinlänglich stark mit Kitt überzogen ist, so daß das Kupfer durchaus nicht mit der Flüssigkeit in Berührung kommen kann. Die Platinplatten, welche den Zinkseiten des Cylinders gegenüber stehen sollen, haben eine horizontale Lage, während diejenigen, welche den kupfernen Grundflächen gegenüber zu stehen bestimmt sind, eine verticale Stellung haben. Die Enden der oben aus den Glasröhren hervorragenden Drähte waren mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Die in unserer Figur dargestellte Anordnung gab in der Richtung, welche durch die Pfeilchen an den Zuleitungsdrähten angedeutet ist, einen Strom, welcher einen Ausschlag der Multiplicatornadel um 15 bis 20^0 bewirkte. — Waren der Mantelfläche gegenüber zwei horizontale Platinplatten so

angebracht, daß die eine eben so hoch über dem Höhenmittel des Cylinders sich befand, als die andere unter demselben angebracht war, so erhielt man gar keinen Strom; wurden beide Platten bei unveränderter Entfernung in die Höhe gezogen, so zeigte sich ein schwacher Strom, der im Multiplicator einen Ausschlag von $5 - 10^0$ bewirkte. Eben solche schwache Ausschläge erfolgten, wenn zwei verticalstehende Ableitungsplatten so über die obere Kupferfläche angebracht wurden, daß sie ungleich weit von der Mitte derselben abstanden, daß also die eine dem Rande des Cylinders näher war als die andere.

Nun aber giebt jedes einzelne Bruchstück eines Muskels noch Ströme und zwar stets nach demselben Gesetze; wir müssen demnach annehmen, daß der Muskel aus einer ganzen Reihe elektromotorischer Elemente bestehe, von denen jedes einzelne in seiner Wirkungsweise durch das Kupferzinkschema in Fig. 302 versinnlicht werden kann.

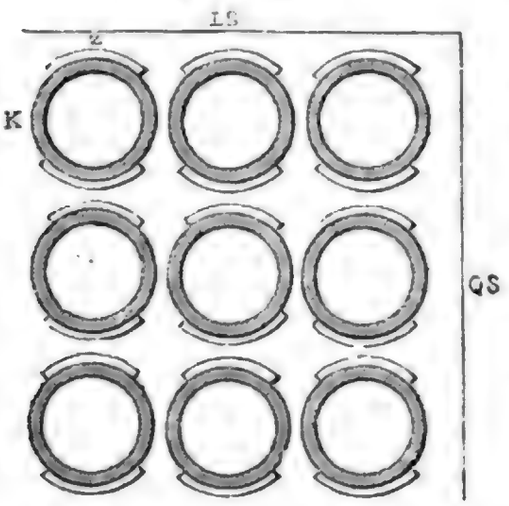
Es ist gleichgültig, welche Form man für diese elektromotorische Muskelmolekeln annehmen will, nur müssen sie zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen; ferner müssen die Axen aller einzelnen Molekeln unter sich und zwar mit der Axe des Muskelbündels parallel seyn. Denken wir uns die elektromotorischen Muskelmolekeln kugelförmig, so stellt Fig. 305 nach der oben besprochenen Annahme schematisch einen Muskellängsschnitt dar. Die negativen Polarzonen sind dunkler, die positive Aequatorialzone ist heller gehalten. Die vertikale Begränzung stellt den Längsschnitt, die horizontale stellt den Querschnitt dar, der schraffirte Grund ist unwirksamer feuchter Leiter.

Fig. 305.

Auch diese Vorstellungsweise hat Du Bois an einem Zinkkupferschema geprüft; er ließ Röhren aus Kupferblech 11^{mm} im Durchmesser ziehen und dem Mantel derselben entlang, einander diametral entgegengesetzt, zwei Zinkstreifen von solcher Breite auflöthen, daß der Umfang der Röhren dadurch in vier gleich breite Streifen, abwechselnd von Zink und Kupfer, getheilt war. Die Röhren wurden senkrecht auf ihre Axe in lauter 12,5^{mm} lange Stücke geschnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnißt und die Elemente, 72 an der Zahl, mit ihren

kreisförmigen Rändern, sämmtlich in etwa 1^{mm} Entfernung von einander, in 6 Reihen auf ein Brettchen von 145^{mm} Länge und 85^{mm} Breite so aufgekittet, daß ihre Zinkseiten sämmtlich der langen, ihre Kupferseiten sämmtlich der kurzen Seite des Brettes zugekehrt waren. Fig. 306 stellt ein Stück dieser Vorrichtung im Grundriß von unten gesehen dar.

Fig. 306.



Das Brettchen, welches die 72 Elemente trug, war gefirnißt und an seiner oberen Fläche mit einem Griff versehen, mittelst dessen dasselbe in einen 182^{mm} langen, 119^{mm} breiten und 6^{mm} hoch mit Wasser gefüllten Trog eingesenkt wurde. Beim Einsenken stieg natürlich das Wasser im Troge, weil die im Innnern der Röhrchen enthaltene Luft nicht entweichen konnte.

Diese Vorrichtung gab nun zwischen Längs- und Querschnitt 20° Ablenkung, und als die Ableitungsplatten vor dem Längsschnitt allein oder vor dem Querschnitt allein sich befanden, 8 bis 10° in dem durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten Sinne.

Aus diesen Untersuchungen geht nun hervor:

1) daß der elektromotorische Muskel fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu denken ist;

2) daß jeder Strom, wie er auch von einem thierischen Erreger gewonnen sey, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm, betrachtet werden müsse.

Einfluß der Zusammenziehung auf den Muskelstrom. Wie 291
wir bereits oben gesehen, hat Matteucci gefunden, daß bei tetanisirten Fröschen der Strom fehle, später sprach er sich dahin aus, daß der tetanische Zustand den Strom der Muskeln nur schwäche. Er hatte also richtig den Einfluß der Zusammenziehung des Muskels auf den Strom beobachtet, war aber so wenig im Stande, diese Entdeckung zu benutzen und zu verfolgen, daß er alsbald ausgedehnte Versuchsreihen mit ganzen Froschsäulen anstellte, welche zeigten, daß der Froschstrom während der Zusammenziehung an Größe zunehme. In seinen »Leçons sur les phénomènes physiques des corps vivants«, welche 1847 erschienen, sagt er endlich auf Seite 277, daß, wenn während

der Contractionen keine Unterbrechung oder irgend eine andere Veränderung in der Kette vorgeht, die Galvanometernadel gar keine Variation erfährt. Die kleinen positiven oder negativen Schwankungen der Nadel, welche man manchmal beobachte, seyen zufälligen Störungen zuzuschreiben.

Nicht besser weiß Matteucci die von ihm gemachte Entdeckung der secundären Zuckung zu benutzen. Er überreichte die erste Nachricht von dieser Entdeckung in einem versiegelten Päckchen im Februar 1842 der Pariser Akademie. Der Versuch, den er hier beschreibt, ist folgender: Wenn man den Nerv eines stromprüfenden Froschschenkels auf die Schenkel eines gewöhnlichen Froschpräparats legt, so zuckt der stromprüfende Schenkel, wenn man auf irgend eine Weise das Präparat, auf welchem sein Nerv liegt, in Zuckungen versetzt.

Becquerel schloß, daß im Augenblicke der Contraction des zur Unterlage dienenden Präparates eine elektrische Entladung in den Muskeln vor sich gehen müsse, und daß ein Theil derselben seinen Weg durch den aufgelegten Nerven nehme, worauf denn sein Schenkel ebenfalls zucken muß.

Anfangs neigte sich Matteucci ebenfalls dieser, wie wir sehen werden, nahe an die Wahrheit streifenden Ansicht zu, und er stellte zu ihrer Begründung die Versuche an, welche eine Vermehrung der Stärke des Froschstromes im Augenblicke der Zusammenziehung nachweisen sollten, alsbald aber verließ er diesen Weg, um sich in einem Labyrinth von Verkehrtheiten zu verlieren.

Im Jahre 1845 puplicirte er in den »philosophical transactions« eine, diese Erscheinung besprechende Abhandlung, unter dem Titel »On Induced Contractions«. Hier sucht er den Beweis zu liefern, daß die secundäre Zuckung gar nicht elektrischen Ursprungs sey. Er betrachtet die besprochene Erscheinung als ein Inductionsphänomen der unbekannten Kraft, welche in den Nerven circulirt und die Muskelcontraction hervorruft!!

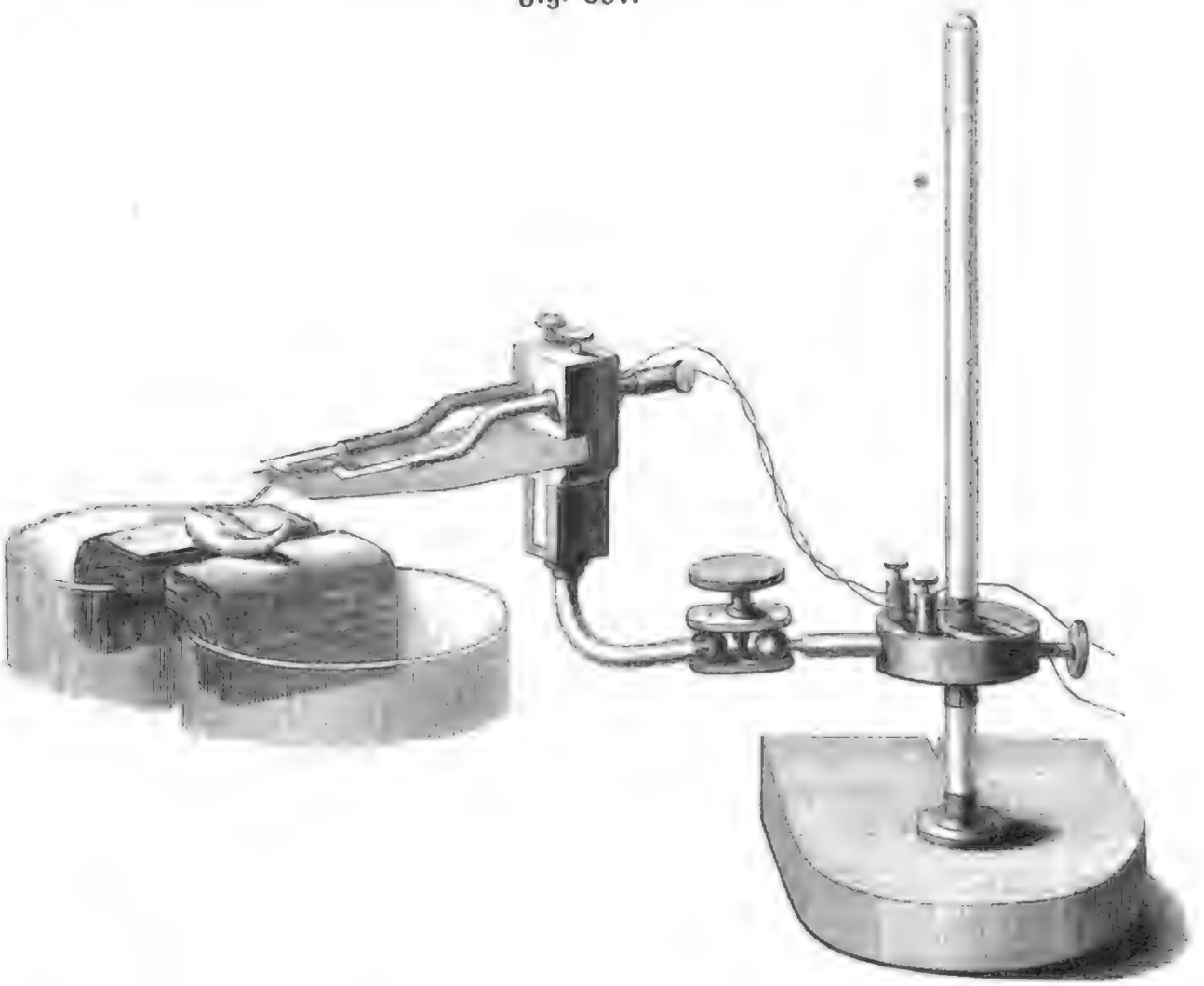
So verdanken wir denn Alles, was auf diesem Felde wirklich für die Wissenschaft gewonnen wurde, den Arbeiten Du Bois's. Wir wollen jetzt sehen, was er aus dem von Matteucci so schlecht benutzten Material zu machen wußte.

Schon in seinem »vorläufigen Abriß« theilt Du Bois mit, er habe sich durch Versuche überzeugt, daß in der That während heftiger und andauernder Zusammenziehung der Strom zwar bei weitem nicht verschwindet, allein doch merklich an Intensität abnimmt.

Fig. 307 stellt die Vorrichtung dar, deren sich Du Bois bediente, um den Grundversuch dieses Gebietes anzustellen. Der Gastroknemius wird

auf die Bäusche gelegt und sein Nerv über zwei Platinschäufelchen ausgebreitet, welche in Messingstäbchen eingelassen sind. Diese Messingstäb-

Fig. 307.



chen gehen durch einen Klotz von Elfenbein hindurch; sie können vor- und rückwärts geschoben, und in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden. Am hintern Ende tragen diese Stäbchen Hülsen, in welche Drähte eingeschraubt werden können, welche die Ströme eines Inductionsapparates zuführen können. Unter den Platinschäufelchen befindet sich eine vorn dünner geschliffene Glastafel, welche in den Elfenbeinklotz eingelassen ist. Sie hat zum Zweck, die Berührung der Platinschaufeln mit den Bäuschen zu verhindern, wenn man die Vorrichtung weiter herunter rücken muß.

Sobald der Muskel auf die Bäusche gelegt wird, fliegt die Nadel gegen die Hemmung und stellt sich endlich bei 10 bis 20 Grad ruhig ein. Nachdem das Nervenende so über die Schaufeln gelegt worden ist, daß es eine Brücke zwischen denselben bildet, wird nun der Muskel dadurch tetanisirt, d. h. in Tetanus versetzt, daß man das Unterbrechungsrad dreht, welches

in den Hauptstrom eines Inductionsapparates eingeschaltet ist, während die Drahtenden des Apparates Fig. 307 zu den Drahtenden des Nebendrahtes gehen. Die in diesem Nebendraht inducirten Ströme durchlaufen nun das Stück des Nerven, welches die Brücke zwischen den Platinschaufeln bildet, und dadurch eben wird der Tetanus des Muskels hervorgebracht.

Der Elektromotor, welcher durch den Hauptdraht des Inductionsapparates geschlossen wurde, war ein Grove'scher Becher, dessen Zinkzelle nur Wasser enthielt.

So lange der Muskel nicht tetanisirt war, zeigte also der Multiplicator eine bleibende Ablenkung von 10 bis 20 Grad.

Im Augenblicke aber, wo man das Rad zu drehen beginnt und der Muskel sich im Tetanus zusammenballt, schlägt die Nadel durch den Nullpunkt durch und es erfolgt ein Ausschlag derselben in den negativen Quadranten, der sich über 50^0 erstrecken kann. Sie schwingt dann, während man zu drehen fortfährt, um eine in dem negativen Quadranten befindliche Gleichgewichtsstellung hin und her, aber bei der Langsamkeit ihrer Bewegungen hat sie niemals Zeit zur Ruhe zu kommen, ehe der Tetanus des Muskels erlahmt ist.

Du Bois widerlegt nun den Verdacht, als ob diese Wirkung von dem Hereinbrechen des Inductionsstromes in den Schließungskreis des Multiplicators herrühren könne. Schon aus theoretischen Gründen geht hervor, daß das nicht der Fall ist, aber auch experimentelle Beweise bringt Du Bois bei, unter welchen der folgende am schlagendsten ist: Man entferne den Nerven und bringe an seine Stelle einen feuchten Zwirnsfaden, einen Streifen feuchtes Löschpapier oder einen Streifen Froschhaut, welcher auf dem einen Ende des Muskels aufliegend eine Brücke zwischen den Platinschaufeln bildet. Die leitende Verbindung zwischen dem Multiplicatorkreis und dem Kreis des Inductionsstroms ist nun ganz so hergestellt, wie vorher; wird aber nun das Unterbrechungsrad gedreht, so entsteht kein Tetanus im Muskel, und es zeigt sich keine Einwirkung auf den Stand der Multiplicatornadel.

Wird der Tetanus des Muskels dadurch hervorgebracht, daß man die Reizung des Nerven auf mechanischem Wege, durch Wärme, durch chemische Einwirkung u. s. w. hervorbringt, so erhält man ähnliche Wirkungen wie beim elektrischen Tetanisiren, nur in schwächerem Maaße.

Ferner hat Du Bois gezeigt, daß der Muskelstrom eines noch lebenden, mit Strychnin vergifteten Frosches in dem Augenblicke eine merkliche Abnahme erfährt, in welchem das Thier in Folge der Vergiftung in Tetanus geräth.

Suchen wir nun zu ermitteln, was die Bedeutung des Rückschlags der Nadel in den negativen Quadranten ist, welche erfolgt, wenn das Teta-

nisiren des Muskels beginnt. Beim ersten Anblick könnte man meinen, es entstehe während des Tetanus im Muskel ein Strom, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, den derselbe im ruhenden Zustande zeigt. Dem ist aber nicht so. Bevor das Tetanisiren beginnt, entwickelt sich in Folge der Galvanischen Polarisation der Platinplatten eine Ladung derselben, welche einen, dem primären entgegengesetzten Strom zu erzeugen strebt. Sobald nun der Muskelstrom in Folge des Tetanisirens so weit abnimmt, daß der Ladungsstrom überwiegend wird, so muß die Nadel natürlich in den entgegengesetzten Quadranten überschlagen.

Will man den Strom des tetanisirten Muskels rein haben, so muß man an irgend einer Stelle des Multiplicatorkreises ein Quecksilbernäpfchen anbringen. Unterbricht man hier die Kette durch Herausnehmen eines Zuleitungsdrahtes aus dem Quecksilber, so kann man den Muskel auf die Bäusche auflegen, ohne daß ein Strom durch den Multiplicator circulirt, und ohne daß sich eine Ladung an den Platinplatten entwickeln kann. Wird nun der Muskel tetanisirt und dann erst die Kette beim Quecksilbernäpfchen geschlossen, so erhält man den Strom des tetanisirten Muskels ganz rein, und zwar erfolgt nun der Ausschlag wirklich in dem gewöhnlichen Sinne des Muskelstromes, nur ist er ungleich schwächer als beim nicht tetanisirten Muskel.

Diese Abnahme des Muskelstromes rührt nur von einer Abnahme her, welche die elektromotorische Kraft der Muskeln während der Zusammenziehung erleidet. Um die Richtigkeit der Behauptung darzuthun, kommt es darauf an, die Einwürfe zu beseitigen, die man etwa gegen diese Behauptung machen könnte. Unter den Widerlegungen Du Bois's gegen verschiedene derartige Einwendungen heben wir hervor, daß die Abnahme des Muskelstromes nicht etwa von einer Vermehrung des Leitungswiderstandes des Muskels oder von der Veränderung seiner Lage auf den Bäuschen herrühre.

Das Erstere hat Du Bois durch die Methode der Compensation nachgewiesen. Zwischen die gewöhnlichen Bäusche wurde noch ein Zwischenbausch eingeschaltet; jeder der beiden Zwischenräume wurde mit einem Gastroknemius überbrückt und zwar so, daß der Strom des einen dem des andern entgegengesetzt war; sie wurden so aufgelegt, daß sich ihre Ströme möglichst vollständig compensirten. Wurde nun der eine oder der andere Muskel in der bekannten Weise tetanisirt, so erhielt stets der Strom des ruhenden Muskels das Uebergewicht, ein Resultat, welches sich nur durch Abnahme der elektromotorischen Kraft des tetanisirten Muskels, aber nicht durch die Vermehrung seines Leitungswiderstandes erklären läßt.

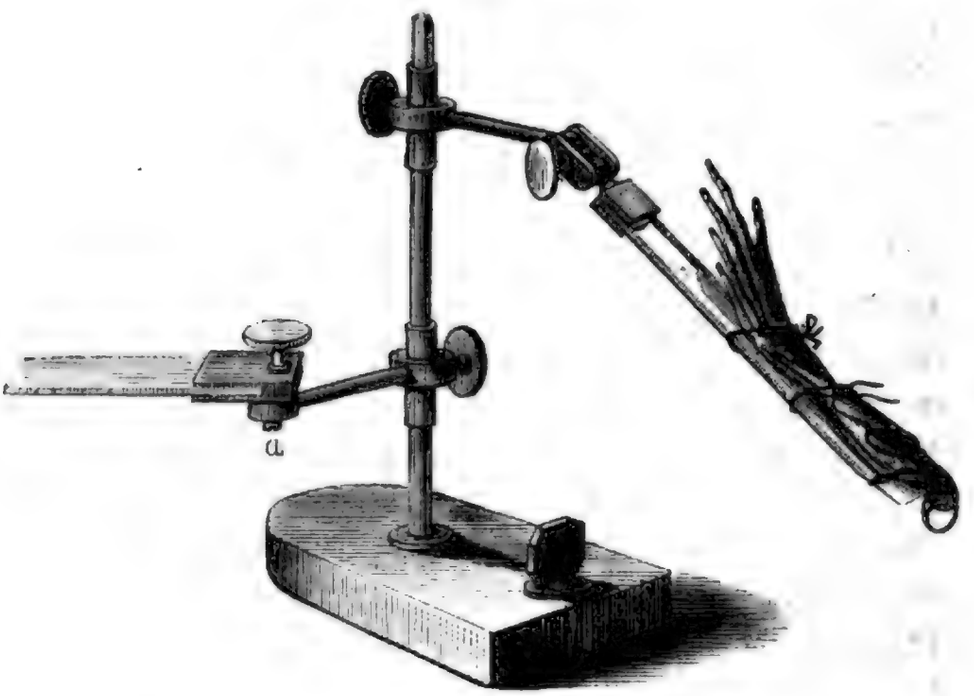
Um zu zeigen, daß nicht etwa eine Veränderung in der Lage des Muskels die Ursache dieser Stromschwächung sey, spannte Du Bois den

Muskel in ein entſprechendes Holzgeſtell ein, und zwar machte er die Spannung ſo ſtark, daß beim Tetaniſiren des Muskels keine merkliche Formveränderung an demſelben mehr vor ſich ging; in dieſer Weiſe wurde der Muskel auf die Bäuſche aufgedrückt. Auch jetzt zeigte ſich die Abnahme des Muskelſtromes während des Tetanus.

292 **Die ſecundäre Zuckung.** Bei den Verſuchen, welche wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben, war der Multiplicator das ſtromprüfende Mittel; wir wollen nun ſehen, wie ſich der ſtromprüfende Froſchſchenkel gegen die durch den Tetanus bewirkte Veränderung des Muskelſtroms verhält. Wir können den Verſuch in zweierlei Weiſe anſtellen: entweder bleibt der Multiplicator noch im Schließungsbogen, ſo daß der Muskelſtrom den Nerven des ſtromprüfenden Schenkels und den Multiplicator zu durchlaufen hat, daß man alſo die Angaben beider Rheoſkope gleichzeitig erhält; oder man kann den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels allein zur Schließung der Kette anwenden.

Im erſten Falle muß man einen Zwiſchenbauſch anwenden. Die eine Lücke wird mit dem zu tetaniſirenden Gaſtroknemius, die andere mit dem Nerven des ſtromprüfenden Schenkels überbrückt, der, wie Fig. 308 zeigt,

Fig. 308.



auf einer Glasplatte feſtgebunden, oder beſſer mit Kautſchukringen befeſtigt, iſolirt aufgeſtellt iſt.

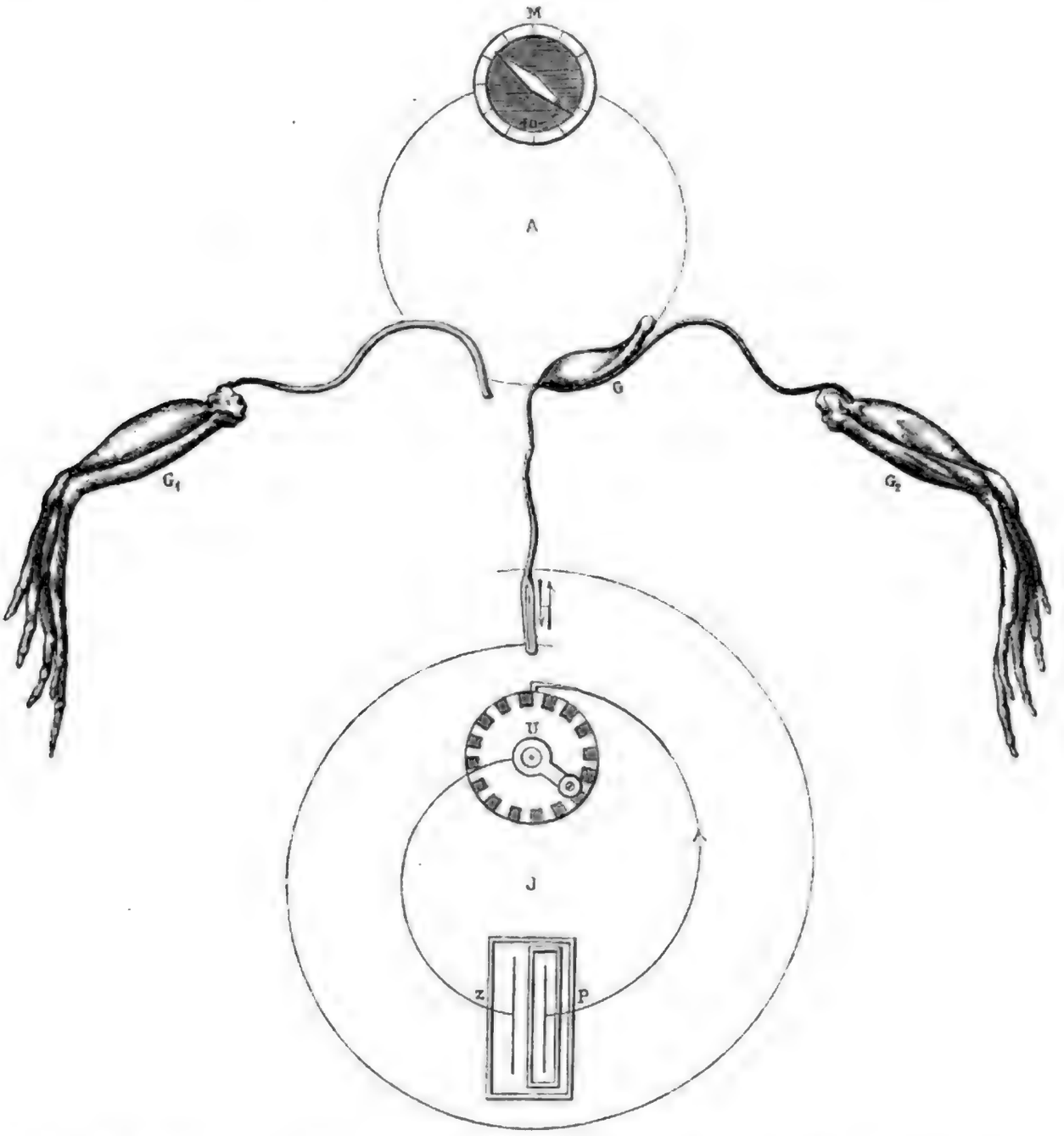
Soll der Strom nur durch den Nerv des ſtromprüfenden Schenkels geleitet werden, ſo hat man den Zwiſchenbauſch nicht nöthig. Man überbrückt den Zwiſchenraum zwiſchen den Bäuſchen auf der einen Seite mit

dem Muskel, auf der anderen mit dem Nerv des stromprüfenden Schenkels.

Man übersieht leicht, daß diese Form des Versuchs nichts anderes ist, als eine zweckmäßige Form der Anordnung, welche Matteucci zur Hervorbringung der secundären Zuckung anwandte.

Fig. 309 stellt schematisch die verschiedenen Anordnungen dar, durch welche man die secundäre Zuckung erzeugen kann. Während in den Schließungs-

Fig. 309.



bogen des Zinkplatinelements das Unterbrechungsrad U eingeschaltet ist, wird der Nebendraht durch ein Stück des Nerven geschlossen, welcher dem Gastroknemius G angehört. Der Gastroknemius G sendet nun seinen Strom durch den Multiplicator M und ein Stück des Nerven, welcher dem stromprüfenden Schenkel G_1 angehört. Man kann aber auch den

Multiplicator ganz aus dem Schließungsbogen weglassen, so daß der stromprüfende Schenkel G_1 das einzige Rheoscop für den Strom des Gastroknemius ist. Legt man den Nerven des stromprüfenden Schenkels an den Gastroknemius an, wie dieß in unserer Fig. 309 mit dem Nerven des Schenkels G_2 der Fall ist, so bildet das Nervenstück allein den Schließungsbogen für den Gastroknemius G und das ist die Form, wie Matteucci zuerst den Versuch anstellte.

Ist Alles auf die angegebene Weise hergerichtet, so beobachtet man einen überraschenden Erfolg, sobald man den Gastrocnemius tetanisirt; der stromprüfende Schenkel macht nämlich während der ganzen Dauer des Tetanisirens unablässig heftige Zuckungen, er ist in einem förmlichen Tetanus begriffen, indeß, wenn gleichzeitig der Multiplicator eingeschaltet ist, seine Nadel noch dieselben Erscheinungen zeigt, wie sie im vorigen Paragraphen beschrieben wurden, nur schwächer, weil durch die Einschaltung des Nerven der Gesammtwiderstand der Kette bedeutend vermehrt worden ist.

Dieser Versuch giebt uns ein ganz anderes Bild vom elektromotorischen Verhalten des tetanisirten Muskels, als die Erscheinung am Multiplicator. Die Langsamkeit der Nadelbewegungen hatte uns nichts Anderes wahrzunehmen gestattet, als im Allgemeinen eine Abnahme des im Multiplicatordrahte kreisenden Muskelstromarmes; die Zuckungen des stromprüfenden Schenkels zeigen uns aber, daß die scheinbar so stetige Zusammenziehung des Muskels aus einer Reihe rasch aufeinander folgender Contractionen besteht.

Durch diese Versuche ist gewiß der elektrische Ursprung der secundären Zuckung außer Zweifel gesetzt.

Soll die secundäre Zuckung in der Form gelingen, wie sie Matteucci zuerst beschrieben hat, so muß natürlich der Nerv des stromprüfenden Schenkels die Kette zwischen zwei, in dem oben entwickelten Sinne elektrisch ungleichartigen Stellen des Muskels schließen, was meist ohne besondere Bemühung durch Zufall getroffen wird.

Was nun die Erklärung von Matteucci's secundärer Zuckung betrifft, so ist sie eigentlich in dem eben Gesagten schon enthalten; die durch das Tetanisiren des Muskels erzeugten Schwankungen des Muskelstromes, welcher den Nerven des stromprüfenden Schenkels durchläuft, sind es, welche die Zuckungen des letzteren bedingen.

Du Bois geht nun zu einer ausführlichen Kritik der Theorie über, welche Matteucci zur Erklärung der secundären Zuckung aufgestellt hat; dieser Theorie zu Folge wäre, wie bereits bemerkt wurde, die secundäre Zuckung eine Art Inductionserscheinung einer noch unbekannten Kraft, welche selbst durch nichtleitende Substanzen hindurch wirken soll.

Am Ende dieser Kritik erklärt aber Du Bois, daß er gewissermaßen gegen Leichen gekämpft habe. Matteucci hat unterdessen seine Ansicht über die Natur der secundären Zuckung abermals geändert; dem compte rendu vom 15. März 1847 zu Folge, welches Du Bois während des Druckes jener Kritik zukam, scheint sich Matteucci jetzt vorzustellen, daß der Muskel im Augenblicke der Zusammenziehung, gleich dem elektromotorischen Organe eines Zitterfisches, dem stromprüfenden Nerven einen Schlag ertheile. Ferner scheint er noch der Meinung zu seyn, obschon sie hier nicht mehr deutlich ausgesprochen ist, daß man die secundäre Zuckung durch Schichten nicht leitender Flüssigkeiten hindurch zu verfolgen vermöge. Wahrscheinlich indeß, fügt Du Bois hinzu, wird er nächstens, seiner Gewohnheit gemäß, auch diese Behauptung in der Stille zu Boden gleiten lassen, wozu hier schon der Anfang gemacht ist.

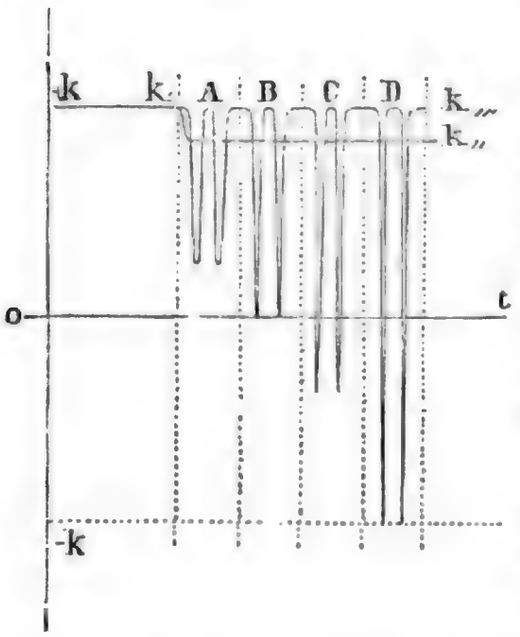
Wenn sich Du Bois nicht weiter auf eine Widerlegung dieser neuen Irrlehren einläßt, so müssen wir ihm darin vollkommen beistimmen.

Der secundär zuckende Schenkel kann durch seine Zuckung einen dritten Schenckel zucken machen, wie die Zuckung des ersten die des zweiten hervorruft.

Matteucci und Du Bois haben Versuche über diese Zuckungen höherer Ordnung angestellt, und zwar ist Matteucci bis zur vierten, Du Bois bis zur fünften Ordnung gelangt.

Es bleibt nun noch die Frage zu beantworten, ob jeder einzelnen blitzschnellen Muskelcontraction bloß eine Abnahme des Stromes entspricht, oder ob im Moment der Contraction eine wirkliche Umkehr des Stromes stattfindet. Die Kurve in Fig. 310 versinnlicht, wie man sich etwa die Stromesschwankungen des Muskels beim Tetanisiren vorzustellen habe; die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Stromdichtigkeit proportional; *ot* ist die Abscissenaxe. Die horizontale Linie von *k* bis *k*, stellt die gleichbleibende Stromstärke des ruhenden Muskels dar; von dem Moment an, wo der Muskel tetanisirt wird, findet stoßweise bedeutende Abnahme des Stromes Statt, welche auf die Nadel des Multiplicators dieselbe Wirkung hervorbringt, als ob die Stromstärke stetig kleiner geworden wäre, wie es die Linie *k*, *k*,, darstellt. Es ist aber nun die Frage, ob bei diesen Schwankungen der

Fig. 310.



Strom nur abnimmt, wie in der Abtheilung *A* dargestellt ist, oder ob der Strom bei jeder Contraction bis auf Null herabsinkt, wie bei *B*, oder endlich sogar in die entgegengesetzte Richtung überschlägt, wie dies bei *C* und *D* dargestellt ist. Du Bois hat sich bis jetzt vergebens bemüht, diese Frage zur Entscheidung zu bringen, er erhielt nur negative Resultate, welche keinen sichern Schluß zulassen.

Du Bois formulirt die Resultate dieser Untersuchungen in folgender Weise:

»Die Kurve der elektromotorischen Kraft des Muskels, bezogen auf die »Zeit, erleidet im Augenblicke der Zusammenziehung eine äußerst schnelle »Schwankung im negativen Sinne, von welcher ungewiß ist, bis zu wel»cher Tiefe sie sich erstreckt, obschon es, nach den vorliegenden Thatsachen »zu schließen, allerdings nicht wahrscheinlich ist, daß sie unter der Abscissen»Axe hinabreicht.«

293 **Einfluß der Ausdehnung und der Zusammendrückung des Muskels auf die Stärke seines Stromes.** Du Bois stellte eine besondere Versuchsreihe an, um zu ermitteln, welchen Einfluß die Streckung und Compression des Muskels auf den Strom desselben habe. Er ließ aber diese Untersuchung später im Drange anderer Fragen liegen, da sie sich weniger ergiebig zeigte als ihr Anfang versprach. Wir begnügen uns, hier nur die Hauptresultate derselben kurz zu bezeichnen: Durch die Streckung des Muskels, welche mittelst einer eigenthümlichen Streckvorrichtung hervorgebracht wurde, wird eine Schwächung des Muskelstroms bewirkt; beim Nachlassen der Streckung nimmt der Muskelstrom wieder zu. Dasselbe, nämlich Abnahme des Muskelstromes, wurde auch bei der Compression des Muskels sowohl in der Richtung der Fasern, als auch parallel mit denselben beobachtet, obwohl hier manchmal auch eine Vermehrung der Stromgröße stattfand, namentlich wenn die Compression parallel mit den Fasern bewerkstelligt wurde.

294 **Abnahme und Dauer des Muskelstromes nach dem Tode.** Der Muskelstrom ist nach dem Tode des Thieres oder nach der Trennung des Muskels vom Gesammtorganismus in fortwährender Abnahme begriffen. Der Ermittelung des Gesetzes dieser Abnahme setzen sich große Schwierigkeiten entgegen. Nach Matteucci's Angaben zeigen Froschpräparate fünf bis sechs Stunden nach dem Tode, ja einen Tag lang in Wasser aufbewahrt, immer noch, wenn auch schwache Ströme. Am raschesten ist die Abnahme in den ersten 8 bis 10 Minuten, so daß der Multiplicatorausschlag nach dieser Zeit nur noch halb so groß erscheint als im Anfang.

Matteucci fand ferner, daß die Dauer des Muskelstromes um so kürzer sey, je höher die Thiere auf der Rangleiter organischer Wesen ständen. So nimmt z. B. die elektromotorische Kraft eines Kaninchenmuskels rascher, die eines Froschmuskels bedeutend langsamer ab, als die eines Taubenmuskels. Diesem Satze fügt Matteucci noch den hinzu, daß die ursprüngliche Kraft des Stromes im lebenden Thiere das umgekehrte Gesetz befolge, d. h., daß sie bei warmblütigen Thieren größer sey als bei kaltblütigen.

Du Bois sagt nun, er sey keineswegs abgeneigt, an das Daseyn eines solchen Unterschiedes zwischen der ursprünglichen Stromkraft warm- und kaltblütiger Muskeln zu glauben, der experimentellen Begründung dieser Ansicht stellten sich aber sehr bedeutende Schwierigkeiten entgegen, welche Matteucci weit entfernt sey, überwunden zu haben.

Die Abnahme des Muskelstromes nach dem Tode betreffend, hat Du Bois gefunden, daß die elektromotorische Kraft des Muskels gleichen Schritt gehe mit seiner Erregbarkeit, daß also der Muskelstrom in demselben Maaße abnehme, wie die Reizbarkeit des Muskels, ferner daß die Todtenstarre die Gränze sey, welche dem Muskelstrome gesetzt ist. Die Erscheinung des Muskelstromes ist dadurch unmittelbar als eine nur an dem lebendigen Gewebe mögliche bezeichnet. Der wegen Todtenstarre verschwundene Strom kehrt unter keinerlei Umständen zurück. Faulende Glieder, nach Lösung der Todtenstarre, wirken nicht merklich elektromotorisch.

Du Bois bespricht nun den Einfluß krankhafter Zustände und verschiedener Todesarten des Thieres, den Einfluß verschiedener Vergiftungen u. s. w. auf den Muskelstrom; wir können dies, ohnehin nicht sehr fruchtbare Feld um so eher übergehen, als es überhaupt für die Physik von untergeordnetem Interesse ist.

Von dem Strome der verschiedenen Gewebe. Wir haben im 295
vorigen Paragraphen gesehen, daß nach dem Tode die elektromotorische Kraft der Muskeln in gleichem Maaße abnimmt, wie die Erregbarkeit derselben. Aehnliches ergiebt sich, wenn wir verschiedene Gewebe unter einander vergleichen, der Strom derselben ist um so schwächer, je weniger reizbar sie sind; durch die Reihe der zusammenziehungsfähigen Gewebe hindurch hält das elektromotorische Vermögen gleichen Schritt mit der mechanischen Leistungsfähigkeit.

Am größten ist die elektromotorische Kraft der quergestreiften Muskeln des Stammes; nach ihnen kommt der Herzmuskel, welcher ein Zwischenglied bildet zwischen den quergestreiften Muskeln und den glatten Geweben, welche nur schwache Ströme geben.

Die elektromotorische Wirksamkeit der Herzmuskelsubstanz hat zuerst Matteucci nachgewiesen. Er experimentirte mit einer Säule von querdurchschnittenen Taubenherzen. Du Bois machte den Versuch an einzelnen Herzen von Fröschen, dem Erdmolch (Salamandra maculata), dem Meerschweinchen und der Hausmaus; der künstliche Querschnitt ist negativ gegen die Außenfläche. Auch unverletzte Herzen gaben lebhafte Ausschläge und zwar stellt die Spitze des Herzens hier den natürlichen Querschnitt war.

Weit weniger stark ist der Strom vom Muskelmagen der Vögel. Ein Taubenmagen mit natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt gab im richtigen Sinne einen ersten Ausschlag von 25° am Du Bois'schen Multiplicator.

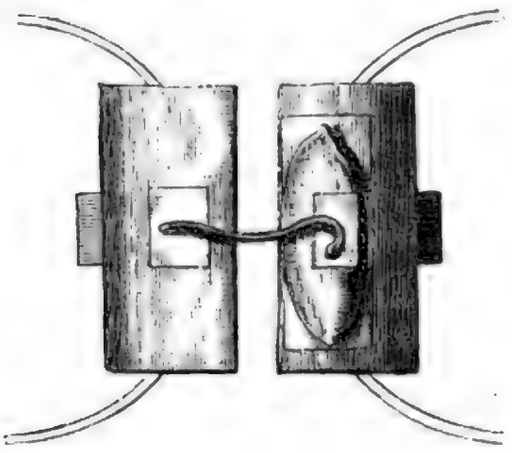
Die Wandung des Magens oder des Darmes vom Frosche giebt, mit einem Punkte ihrer äußeren Fläche gegen einen beliebig zur Axe des Darmes laufenden Schnittrand aufgelegt, schwache Wirkungen innerhalb der ersten 15° im Sinne des Gesetzes des Muskelstromes.

Eine Sehne vom Kaninchen mit natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt gab nur 5, höchstens 8 Grad Ausschlag, der zwar meist wie beim Muskel gerichtet ist, allein sehr leicht unregelmäßig wird.

Stücke von Lunge, Leber, Niere gaben ebenfalls nur sehr schwache Ströme, die sich dem gemeinsamen Gesetze des Nerven- und Muskelstromes nur mangelhaft unterordnen.

Die Berührung verschiedener Gewebe zeigt sich elektromotorisch unwirksam. Will man den Versuch anstellen, so ist klar, daß die beiden Gewebe so gelagert seyn müssen, daß jedes einzelne an und für sich durch die ihm eigenthümlichen elektromotorischen Kräfte nicht auf die Nadel einzuwirken vermöge. Hat man es z. B. mit Nerv und Muskel zu thun, so wird man ihnen die in Fig. 311 dargestellte Lage anweisen müssen. Du Bois hat die elektromotorische Unwirksamkeit der Berührung verschiedener Gewebe nachgewiesen an allen möglichen Combinationen vom Muskel, Nerv, Sehne, Haut und Knochen. Dadurch ist nun natürlich auch Volta's Erklärung der Zuckung ohne Metall (Seite 774) auf das vollständigste widerlegt.

Fig. 311.



296 **Der Nervenstrom.** Da die Vorstellung von der Identität des Nervenagens mit der Elektricität schon eine alte und viel verbreitete ist, so ist

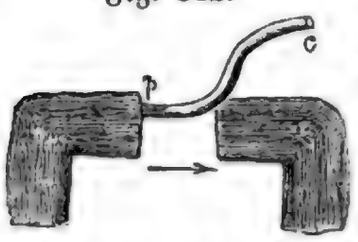
begreiflich, daß mannichfache Bestrebungen gemacht wurden, elektrische Wirkungen von den Nerven zu erhalten. Du Bois hat die hierher gehörigen historischen Notizen zusammengestellt; wir übergehen sie hier. — Nachdem Matteucci in Beziehung des elektrischen Verhaltens der Nerven an verschiedenen Orten viel Verworrenes und Widersprechendes publicirt hatte, sagt er im Jahre 1844 (Annales de Chimie et de Physique 3 série t. XII. p. 579): Nous croyons être autorisés à conclure qu'il n'existe aucune trace de courants électriques dans les nerfs des animaux vivants, appréciable à l'aide des instruments que l'on possède aujourd'hui.

So bleibt denn Du Bois allein die Ehre, den Nervenstrom entdeckt zu haben. Bereits in seinem »vorläufigen Abriß« hat er die elekromotorische Wirkung des Nervus ischiadicus vom Frosch und vom Kaninchen besprochen.

Folgendes ist das Verfahren, welches Du Bois anwandte, um den Nervenstrom zu beobachten und seine Gesetze zu ermitteln.

Ein aus dem Nervus ischiadicus eines frisch getödteten Frosches so eben ausgeschnittenes Stück wird so auf die Bäusche gelegt, daß es einerseits mit dem natürlichen Längsschnitt, andererseits mit dem künstlichen Querschnitt berührt wird, wie dies Fig. 312 angedeutet ist. Auf diese Weise erfolgt ein Ausschlag, der unter Umständen 25 bis 30° betragen kann, sich aber gemeiniglich auf 15 bis 18° beläuft und welcher ohne Ausnahme vom Punkt des natürlichen Längsschnittes durch den Multiplicatordraht zum künstlichen Querschnitt, also wie beim Muskel, gerichtet ist und eine beständige Ablenkung von 5 bis 8° zurückläßt.

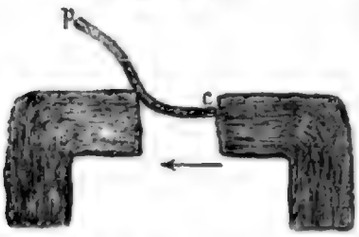
Fig. 312.



Die Bäusche sind bei diesem Versuch natürlich mit Eiweißhäutchen versehen; auf demjenigen, der mit dem Längsschnitt berührt werden soll, befindet sich außerdem noch ein Stückchen Glimmer oder Wachstaffent, auf welches man das Nervenende auflegt, dessen Querschnitt nicht ins Spiel kommen soll.

Es ist in Betreff der Stromrichtung völlig gleichgültig, welchen der beiden künstlichen Querschnitte man auflege, ob den dem Ursprunge (in den Figuren mit *c* bezeichnet), oder den der Ausbreitung (*p*) der Nerven näher gelegenen, wie in Fig. 313 angedeutet ist. Man kann auch den Nerven in der Mitte seiner Länge zusammenfalten und die beiden Querschnitte gleichzeitig auf den einen, die Schlinge auf den anderen Bausch auflegen, wie Fig. 314 f. S.; man erhält einen starken Strom im richtigen Sinne.

Fig. 313.



Wird der Bauſch beiderſeits mit künſtlichem Querſchnitt berührt, wie Fig. 315, ſo bleibt die Nadel ungeſtört, wenn der Verſuch gut gelingt.

Fig. 314

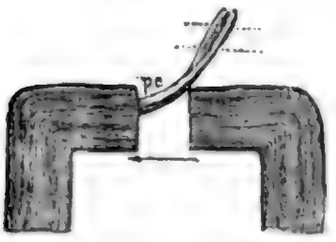
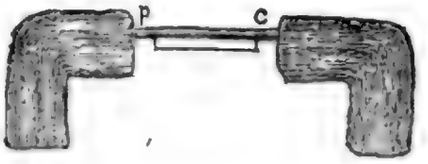


Fig. 315.

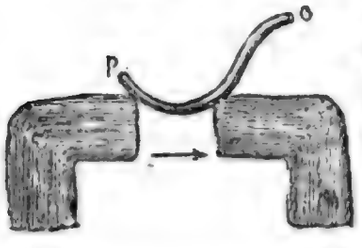


Meiſtens aber erhält man ſchwache Ablenkungen, jedoch höchſtens bis zu 8^0, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite, was ſich leicht aus der Schwierigkeit erklärt, die Bäuſche *nur* mit Querſchnitt zu berühren.

Wegen der Kleinheit des Nervenquerſchnittes kann natürlich nicht die Rede davon ſeyn, das elektromotoriſche Verhalten verſchiedener Punkte des Querſchnittes gegen einander zu unterſuchen, die Erforſchung der einzelnen Punkte des Längsſchnittes bietet dagegen keine Schwierigkeit dar. Sie geſchieht auf die nämliche Weiſe, wie beim Muskel, und giebt auch gleiche Reſultate. Man erhält Wirkungen, welche im Verhältniß zu den beim Auflegen vom Längs- und Querſchnitt beobachteten ſehr gering ausfallen. Die Ausſchläge betragen 6 bis 7^0, die beſtändige Ablenkung 2 bis 4^0. Sie ſind im Allgemeinen ſo gerichtet, daß die Punkte, welche näher bei der Mitte der Länge des Nervenſtücks liegen, poſitiv ſind gegen die näher gegen die Enden hin liegenden. Fig. 316.

Werden zwei Punkte des Nerven aufgelegt, welche gleich weit von der Mitte entfernt ſind, ſo beobachtet man keine elektromotoriſche Wirkung.

Fig. 316.



Das iſt die Erſcheinungsweiſe des Nervenſtromes an den gemiſchten Nervenſtämmen der Extremitäten, als deren Repräſentant der Iſchiadicus gewählt wurde, weil er wegen ſeiner Länge zum Verſuch der bequemſte iſt. Es bleibt jetzt noch übrig, das Verhalten des Nervenſtromes an anderen Theilen des Nervenſyſtems, an den Centralgebilden ſowohl, als auch an den reinen Empfindungs- und Bewegungsnerven zu unterſuchen.

Was die reinen Bewegungs- und Empfindungsnerven betrifft, ſo bieten die vorderen und hinteren Wurzeln der Nervenſtämme für die hinteren Extremitäten des Froſches, welche man leicht in 7 bis 8 Millimeter Länge erhält, eine willkommene Gelegenheit zur Erledigung dieſes Punktes. Eine ſolche Wurzel giebt mit Leichtigkeit 20 bis 25^0 Ausſchlag und 10^0 beſtändiger Ablenkung. *Das elektromotoriſche Verhalten der*

vorderen und hinteren Wurzeln bietet keinen Unterschied dar; wie bei den gemischten Nervenstämmen, so ist auch bei den reinen Bewegungs- und bei den reinen Empfindungsnerven der Querschnitt negativ gegen die Seitenfläche.

Mit dem Nervus opticus des Frosches zu experimentiren, ist wegen seiner Kürze sehr schwierig; Du Bois wählte, statt dessen den Nervus opticus von Fischen, namentlich den vom großen Schley. Dieser giebt 40 bis 45° Ausschlag. Auch hier gilt das gleiche Gesetz in Beziehung auf die Stromesrichtung.

Jede Schnittfläche des Gehirns verhält sich negativ gegen Punkte der Außenfläche. Ebenso ist jeder Querschnitt des Rückenmarks negativ gegen seine Außenfläche.

Du Bois hat sich durch Versuche von der gleichen Gesetzmäßigkeit des Nervenstromes beim Menschen, dem Kaninchen, dem Meerschweinchen, der Hausmaus, der Taube, der Schildkröte, der Eidechse, dem Wasser-, Gras- und Laubfrosch, dem Erdmolch, dem Schley und dem Flußkrebse überzeugt.

Erörterung des Gesetzes des Nervenstromes. Wir haben nun297
gesehen, daß der Nervenstrom denselben Gesetzen folgt, wie der Muskelstrom; wir sind also berechtigt, alle Schlüsse, die rein physikalisch für den Muskel aus der Erscheinungsweise seines Stromes folgten, unmittelbar auf den Nerven zu übertragen und elektromotorische Molekeln in den Nerven als Erzeugerinnen des Stromes zu betrachten. Gleich den Muskeln sind demnach die Nerven fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette zu betrachten; wie bei den Muskeln, so ist auch jeder Strom, der von den Nerven gewonnen wird, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Stromarm anzusehen; endlich gilt für die Nerven wie für die Muskeln die Bemerkung, daß die Stärke des Stromes, wie er im Multiplicator sich kundgiebt, nicht das geringste aussage über die Stärke, die dem Strom in der nächsten Nähe der ihn entwickelnden Molekeln zukommen mag.

Was nun zunächst die elektromotorische Kraft der Nervenmolekeln, verglichen mit derjenigen der Muskelnmolekeln betrifft, so ist es begreiflich leider nicht möglich, sich darüber irgend einen genauen Aufschluß zu verschaffen, jedoch läßt sich mit ziemlicher Sicherheit die Behauptung aufstellen, daß der Nervenstrom unter sonst gleichen Umständen dem Muskelstrome an Stärke nicht nachsteht, ja vielleicht ihn in den ersten Augenblicken übertrifft.

Wir haben eben nur die Wirkungen des Nervenstromes auf den Multiplicator kennen gelernt; allein auch physiologische Wirkungen des Ner-

venstromes hat Du Bois zu Stande gebracht. Sein Verfahren ist folgendes:

Nachdem man sich durch den Multiplicator von der Gleichartigkeit aller Theile überzeugt hat, kann man denselben aus der Kette entfernen und ein Quecksilbernäpfchen einschalten, so daß das Oeffnen und Schließen des Kreises mittelst eines verquickten Kupferhakens metallisch vollzogen werden kann. Der stromprüfende Froschschenkel ist auf der Glasplatte des allgemeinen Trägers Fig. 308 auf Seite 822 befestigt und das Hirnende seines Ischiadnerven wird mit Längs- und Querschnitt über die mit Eiweißhäutchen versehenen Bäusche gebrückt. Beim Schließen und manchmal auch beim Oeffnen der Kette zuckt der Schenkel.

Man hat nicht einmal eine metallische Schließung nöthig. Hat man auf der einen Seite der Bäusche den Zwischenraum derselben in gehöriger Weise durch den Nerv des stromprüfenden Schenkels überbrückt, so zuckt derselbe, wenn man die Kette durch Auflegen des Schließungsbausches auf der anderen Seite schließt. Natürlich muß das Präparat einen hohen Grad von Empfindlichkeit haben, wenn dieser Versuch gelingen soll.

298 **Der elektrotonische Zustand der Nerven.** Wir schreiten jetzt zu der Untersuchung, wie sich der Nervenstrom verhalte, während das sogenannte Nervenprincip in Thätigkeit ist, also während der Nerv nach dem Muskel zu, oder den Centralgebilden hin die materiellen Veränderungen fortpflanzt, die wir als Bewegung, als Empfindung wahrnehmen.

Die Untersuchung hat hier zunächst ganz gleiche Form mit derjenigen über das Verhalten des Muskelstromes während der Zusammenziehung. Sie zerfällt abermals in Versuche am Multiplicator und in die am Froschschenkel, welche die ersteren ergänzen.

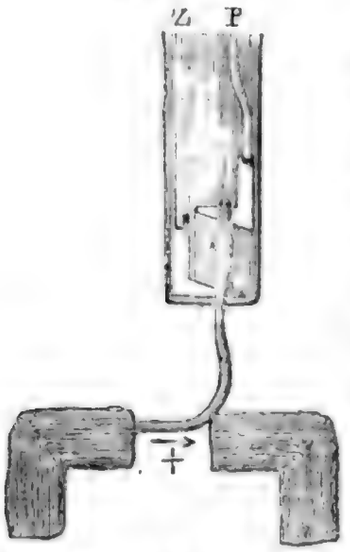
Die nächste Bemühung muß nun dahin gehen, ein Verfahren ausfindig zu machen, wodurch wir den Nerven in einen Zustand versetzen können, der in Bezug auf seine besonderen Lebensäußerungen dasselbe vorstellt, was beim Muskel das Tetanisiren. Dieser Zustand ist für den bewegenden Nerven offenbar der, welcher Tetanus in den zugehörigen Muskeln zur Folge hat; für den Empfindungsnerven ein solcher, wo eine irgend wie beschaffene, aber möglichst lebhafte Empfindung entweder stetig oder in einzelnen Anfällen stattfindet, die sich in ununterbrochen dicht gedrängter Reihe wiederholen. Wir wollen der Kürze und Bequemlichkeit wegen fortfahren, eine jede Versuchsweise, wodurch ein solcher Zustand der Nerven, gleich viel, ob bewegender oder empfindender Art, hervorgerufen wird, mit dem Ausdruck »Tetanisiren« zu bezeichnen.

Ehe wir jedoch zu dieser Untersuchung selbst schreiten, haben wir noch

den Einfluß stetiger Ströme auf die Nerven kennen zu lernen, welche die Annahme eines elektrotonischen Zustandes in denselben bedingt.

Ein Nerv sey auf die Bäusche und die bekannten Platinschäufelchen so aufgelegt, wie es Fig. 317 zeigt. Der Strom des zwischen den Bäuschen befindlichen Nervenstückes wird am Multiplicator eine beständige Ablenkung hervorbringen. Bringt man nun die Stäbchen, in welche die Platinschäufelchen eingelöthet sind, mit dem positiven und negativen Pole eines einfachen Grove'schen Bechers in metallische Verbindung, daß also ein constanter Strom durch das hier aufliegende Nervenstück hindurchgeht, so findet je nach der Richtung dieses Stromes eine Zunahme oder eine Abnahme des am Multiplicator beobachteten Nervenstromes Statt.

Fig. 317.



Hat der Strom der Kette in dem Nerven gleiche Richtung mit dem Nervenstrome in dem Stück Nerv, welches in dem Multiplicatorkreise begriffen ist, wie es unsere Figur andeutet, so findet anscheinend Vergrößerung des Nervenstromes Statt; es findet anscheinend Verkleinerung Statt, wenn beide Ströme in den Nerven entgegengesetzte Richtung haben.

Eine beständige Ablenkung von 8^0, welche der ursprüngliche Nervenstrom hervorbrachte, erlitt im einen Falle einen bleibenden Zuwachs von 2 bis 3 Graden, im andern Falle eine eben so große Abnahme, nachdem im Moment der Schließung der erregenden Kette natürlich ein größerer Ausschlag nach der einen oder anderen Seite erfolgt war.

Den mittelst der Platinschäufelchen durch ein Nervenstück hindurchgeleiteten Strom wollen wir den erregenden Strom nennen.

Den Zustand der Veränderung seiner elektromotorischen Kräfte, welche durch den erregenden Strom hervorgebracht wird, nennt Du Bois den elektrotonischen Zustand des Nerven.

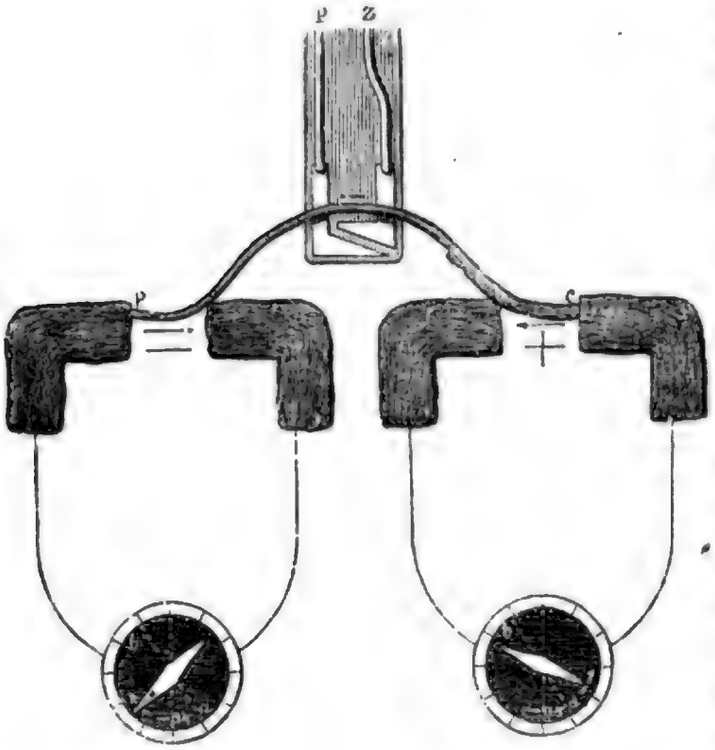
Von der Strecke eines im elektrotonischen Zustande befindlichen Nerven, welche Vermehrung ihres ursprünglichen Stromes zeigt, wollen wir sagen, sie sey in der positiven Phase dieses Zustandes begriffen. Die negative Phase desselben schreiben wir der Strecke zu, welche Verminderung ihres ursprünglichen Stromes zeigt.

Die Strecke des Nerven, welche auf den Bäuschen ruht, und von welcher der Nervenstrom in den Multiplicatorkreis abgeleitet wird, heiße die abgeleitete Strecke des Nerven; die auf den Platinblechen der stromzuführenden Vorrichtung liegende, welche dem erregenden Strome ausgesetzt wird, die erregte Strecke desselben.

Auch hier liefert Du Bois wieder den Beweis, daß diese Erscheinungen so wenig, wie die oben auf Seite 820 betrachteten, von dem Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis herrühren können.

Der elektrotonische Zustand zeigt sich um so weniger stark, je weiter die abgeleitete Strecke von der erregten ist.

Fig. 318.



Die Fortpflanzung des elektrotonischen Zustandes wird durch Unterbindung und Durchschneidung gehemmt.

Aus den besprochenen Versuchen läßt sich erwarten, daß, wenn die erregte Strecke des Nerven ungefähr in seiner Mitte liegt und seine beiden Enden abgeleitet sind, wie dies Fig. 318 zeigt, daß man alsdann am einen Nervenende eine Zunahme des Stromes, am anderen dagegen eine Abnahme desselben beobachten werde, wenn ein constanter Strom die erregte Strecke durchläuft.

Zur Anstellung dieses Versuchs sind natürlich zwei Multiplicatoren nöthig; ebenso ist klar, daß man ihn nur mit den Nerven von ungewöhnlich großen Fröschen anstellen kann. Du Bois fand unter den angegebenen Umständen wirklich, daß die Ablenkung des einen Multiplicators zu-, die des andern abnahm.

Wird der Nerv nicht, wie es Fig. 317 zeigt, einerseits mit dem Querschnitt, andererseits mit dem natürlichen Längsschnitt, sondern mit zwei Stellen des natürlichen Längsschnittes auf die Bäusche gelegt, so also, daß der ursprüngliche Nervenstrom ungleich schwächer ist als im vorigen Fall, so tritt beim Schließen der erregenden Kette die fragliche Veränderung im Nervenstrom mit nicht geringerer Stärke ein, als in dem zuerst betrachteten Falle. — Rückt die abgeleitete Strecke der Mitte des ganzen Nervenstückes näher, so wird bekanntlich der Nervenstrom immer schwächer, die Veränderung des Stromes aber nimmt nicht ab, die wir eintreten sehen, wenn die über den Platinschäufelchen liegende Nervenstrecke von einem constanten Strom durchflossen wird. Wenn gerade das

Mittelstück des Nerven die abgeleitete Strecke bildet, so zeigt der Multiplicator gar keinen Nervenstrom. Wir sehen aber dieses stromlose Stück sogleich elektromotorisch werden, sobald die erregte Strecke von einem Strom durchlaufen wird, und zwar ist der Strom, welchen die abgeleitete Strecke in diesem Falle liefert, im Nerv gleichgerichtet mit dem erregenden Strome.

Diese ganze Erscheinungsreihe läßt sich kurz so zusammenfassen: *Sobald irgend eine Strecke der Länge eines Nerven von einem elektrischen Strome durchflossen wird, fängt der Nerv an, abgesehen von seiner gewöhnlichen Stromentwickelung, in allen seinen Punkten elektromotorisch zu wirken und zwar in dem Sinne jenes erregenden Stromes selber.*

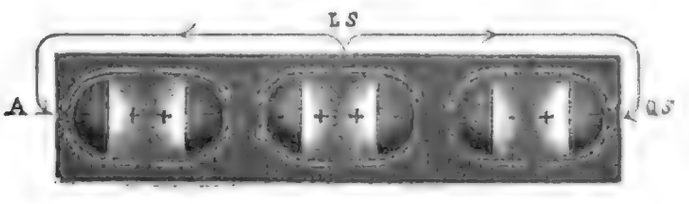
Die elektromotorische Thätigkeit, welche wir unter diesen Umständen am Nerven auftreten sehen, ist wesentlich verschieden von derjenigen, welche den Nervenstrom bedingt. Hier fällt der Unterschied zwischen Längs- und Querschnitt ganz weg und der Nerv wird nach Art der Volta'schen Säule elektromotorisch; zur Erklärung des elektrotonischen Zustandes müssen wir also annehmen, daß die einzelnen elektromotorischen Theilchen säulenartig geordnet sind, daß der Strom, welcher die erregte Strecke des Nerven durchläuft, eine säulenartige Polarisation in der ganzen Länge des Nerven hervorbringt.

Die Anordnung der elektromotorischen Kräfte, die wir im elektrotonischen Zustande wirksam werden sehen, ist derjenigen an einer unter Wasser getauchten oder überall mit einer Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Säule zu vergleichen. Die elektromotorischen Molekeln aber, welche gehörig geordnet, das Bild einer Säule geben sollen, müssen nothwendig *dipolar* seyn, einem zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar.

Zur Erklärung des ursprünglichen Nervenstromes haben wir aber die zur Erklärung des Muskelstromes aufgestellte, auf S. 816 besprochene Hypothese *peripolarer* Molekeln auf die Nerven übertragen. Es fragt sich nun, wie sich diese Annahme mit dem Eintreten des elektrotonischen Zustandes in Zusammenhang bringen läßt?

Du Bois löst diese Schwierigkeit in folgender Weise: — Man kann sich die peripolaren Molekeln aus je zwei dipolaren zusammengesetzt und diese dann in der Weise geordnet denken, wie dies Fig. 319 zeigt. Bei dieser Anordnung der elektromotorischen Molekeln im Nerven wird derselbe den gewöhnlichen Nervenstrom

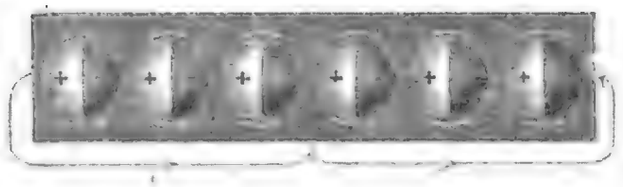
Fig. 319.



zu entwickeln im Stande seyn. Beim Uebergang in den elektrotonischen Zustand trennen sich nun die beiden dipolaren Molekeln, welche vorher zu einem peripolaren verbunden waren, und die Hälfte derselben dreht sich so, daß nun die positiven Hälften alle nach einer, die negativen nach der anderen Seite gerichtet sind, wie dies Fig. 320 andeutet.

Der elektrotonische Zustand bietet in mancher Beziehung Aehnlichkeit mit dem Vorgange der Innervation dar, deshalb aber darf doch die säulenartige Polarisation keineswegs für einerlei gehalten werden mit dem Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, welcher nur in dem Augenblicke des Hereinbrechens, Aufhörens, Umsetzens des Stromes stattfindet, nur durch Schwankungen der Stromdichte in den Nerven hervorgerufen wird, während der elektrotonische Zustand in gleicher Weise anhält, so lange die Kette geschlossen ist.

Fig. 320.



Schon damals, als bei Ritter und P. Ermann die ersten Grundzüge einer Theorie der Zuckungen auftauchten, machte sich die folgende Vorstellungsweise geltend: daß nämlich der Bewegung vermittelnde Vorgang, der im Augenblick der Schließung der Kette entstehe, von dem Uebergang des Nerven in einen veränderten Zustand herrühre; daß die Thätigkeit des Stromes eben darin bestehe, den Nerven in diesen veränderten Zustand zu versetzen und so lange er selber andaure, auch darin zu erhalten; daß nämlich die Oeffnungszuckung nichts sey, als die Folge des Rücktritts des Nerven aus dem veränderten Zustand in den natürlichen.

Du Bois stellt nun die Ansicht auf, daß wir in dem elektrotonischen Zustande jene dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom wirklich erkannt haben. Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, so ergeht es letzterem gleich jedem andern feuchten Leiter. Es wird Elektrolyse eingeleitet, welche mit säulenartiger Polarisation beginnt. Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung bedingt jene Gleichgewichtsstörung, die als Schließungszuckung, Schließungsschmerz sich geltend macht. Die Rückkehr von der dipolaren zur natürlichen Anordnung ist es, welche den Oeffnungsschlag veranlaßt. Die galvanische Reizung ist uns nichts mehr, als die erste Stufe der Elektrolyse eines Nerven.

Was die Wahl des Namens betrifft, mit welchem Du Bois die dauernde Veränderung der Nerven durch den Strom belegt, so sagt er darüber Folgendes: Zwischen dem Vorgange der Nervenerregung durch den Strom und dem der Induction eines stromführenden Leiters oder ei-

nes Magneten auf einen benachbarten Leiter findet eine Aehnlichkeit Statt, die bereits oben erwähnt wurde.

Faraday nahm an, daß in dem inducirten Drahte eine Veränderung vor sich gehe, welche so lange andauere, wie die inducirende Ursache selber.

Den Schließungsstrom betrachtet er als den Ausdruck des Ueberganges vom gewöhnlichen Zustand des Nebendrahtes in den veränderten, während sich die Rückkehr aus dem veränderten Zustand in den gewöhnlichen durch den Oeffnungsschlag kundgiebt. — Dieser veränderte Zustand nun, in welchem sich der inducirte Draht vom Schließungsschlage an bis zum Trennungsschlage befindet, nennt nun Faraday den elektrotonischen Zustand. Anfangs konnte er keine weiteren Beweise für die wirkliche Existenz dieses hypothetischen Zustandes beibringen und erst viel später gelang es ihm durch optische Mittel, wirklich eine Veränderung des Molekularzusammenhanges verschiedener Körper durch magnetisirende Einflüsse darzuthun.

Will man nun den Vergleich der Induction mit der Nervenerregung vollends durchführen, so ist klar, daß die säulenartige Polarisation der Nerven durch den Strom, Faraday's elektrotonischem Zustande der Materie entspricht; man kann also den in diesem Paragraphen besprochenen Zustand der Nerven nicht passender bezeichnen, als wenn man ihn den elektrotonischen Zustand der Nerven nennt.

Verhalten des Nervenstromes beim Tetanisiren auf elektrischem Wege. Läßt man eine Reihe gleichgerichteter Stromstöße von kurzer Dauer durch das auf den Platinschäufelchen aufliegende Nervenstück hindurchgehen, so zeigt die abgeleitete Strecke immer noch die positive und negative Phase des elektrotonischen Zustandes, die wir im vorigen Paragraphen kennen lernten. — Schaltet man in den Kreis der erregenden Kette ein Unterbrechungsrad ein, so erhält man beim Drehen desselben die Ausschläge in demselben Sinne, als ob man die erregende Kette stetig geschlossen hätte, so kurz auch die Dauer der jedesmaligen Schließung seyn mag. Das Unterbrechungsrad, dessen Du Bois sich bediente, war so eingerichtet, daß man die jedesmalige Schließungsdauer auf 0,001 Secunde herunterbringen konnte, während die Unterbrechungszeit zwischen zwei Schließungen etwa 19mal so groß war. Da die Phasen sich noch deutlich zeigten, so ist in diesen Versuchen die Gränze der Geschwindigkeit, womit der elektrotonische Zustand zu Stande zu kommen vermag, noch nicht erreicht. 299

Auch wenn man die Stöße des Extrastromes, z. B. die eines Neef'schen Magnetelektromotors auf die erregte Strecke einwirken läßt, zeigen sich noch die elektrotonischen Phasen im richtigen Sinne; doch treten hier schon Störungen auf, indem die positive Phase bedeutend schwächer auftritt als die negative. Manchmal erfolgt in der positiven Phase gar keine sichtbare Wirkung oder es tritt sogar ein negativer Ausschlag auf, der aber demjenigen an Größe weit nachsteht, welche der negativen Phase entspricht. — Dies alles zeigt, daß hier der elektrotonische Zustand nicht mehr rein auftritt. Die Abweichung von der reinen Erscheinung des elektrotonischen Zustandes deutet auf eine negative Stromesschwankung hin, welche hier modificirend einwirkt.

Um diese negative Stromesschwankung nachzuweisen, muß man die Erscheinungen des elektrotonischen Zustandes zum Verschwinden bringen, was ganz einfach dadurch geschieht, daß man statt einer Reihe gleichgerichteter Stöße anzuwenden, den Nerv durch abwechselnd gerichtete Ströme tetanisirt.

Die geeignetste Vorrichtung, um abwechselnd gerichtete Ströme in rascher Aufeinanderfolge durch ein Nervenstück hindurchzusenden, ist nun der Inductionsapparat, da ja die Schließung des Hauptstromes von einem entgegengesetzt gerichteten, die Oeffnung desselben von einem gleichgerichteten Strome im Nebendrahte, in dessen Schließungsbogen das Nervenstück eingeschaltet ist, begleitet wird.

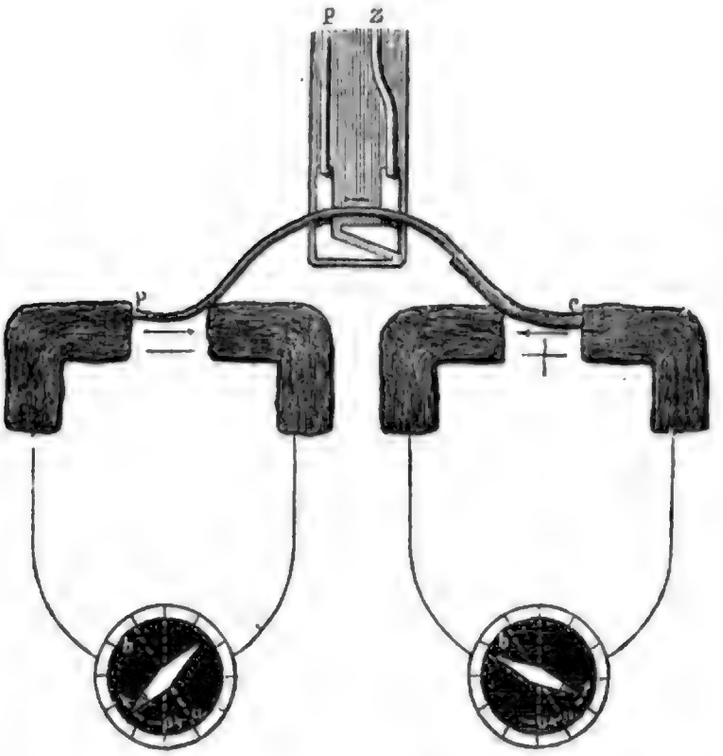
Der Erfolg des Tetanisirens mit abwechselnden Strömen, wenn Längs- und Querschnitt auf den Bäuschen aufliegen, ist nun wirklich eine rückgängige Bewegung der Nadel nach dem Nullpunkt hin, unter günstigen Umständen bis in den negativen Quadranten hinein.

Sind beide Enden des Nerven abgeleitet, wie Fig. 321 zeigt, so machen beide Multiplicatornadeln eine rückgängige Bewegung, wenn die erregte Nervenstrecke durch abwechselnd gerichtete Ströme tetanisirt wird, während, wie wir oben sahen, bei Anwendung beständiger Ströme die eine Hälfte des Nerven in die positive, die andere in die negative Phase des elektrotonischen Zustandes tritt, also die Ablenkung der Nadel im einen Multiplicator zu- im andern abnimmt.

Liegt die abgeleitete Strecke des Nerven auf beiden Bäuschen mit dem Längsschnitt auf, so zeigt sich bekanntlich der ursprüngliche Nervenstrom ungleich schwächer als beim Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt; aber auch die negative Stromesschwankung, welche beim Tetanisiren des Nerven mit abwechselnd gerichteten Strömen stattfindet, erscheint in gleichem Maaße geschwächt wie der Nervenstrom selbst, während der elektroto-

nische Zustand sich unabhängig von der ursprünglichen Stärke des Nervenstromes an allen Stellen des Längsschnittes eben so stark zeigte, als wenn einerseits Längsschnitt, andererseits Querschnitt auflag.

Fig. 321.



Das Ergebniß des Tetanisirens der Nerven mit abwechselnden Strömen stimmt also genau überein mit dem elektromotorischen Ergebniß der Muskelzusammenziehung.

So ist denn der Beweis geliefert, daß das Tetanisiren der Nerven auf elektrischem Wege von einer Schwankung des ursprünglichen Nervenstromes in negativem Sinne begleitet ist, welche, vom elektrotonischen Zustande unabhängig, nichts Anderm zugeschrieben werden kann, als einer Verminderung der nach Außen gerichteten elektromotorischen Kräfte des Nerven. Diese negative Stromesschwankung ist nun wohl nichts Anderes, als der elektrische Ausdruck des Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorganges.

Um nun darüber volle Gewißheit zu erhalten, ist nur noch zu untersuchen, ob diese negative Stromesschwankung nicht vielleicht allein an das Tetanisiren auf elektrischem Wege geknüpft sey und bei anderen Arten des Tetanisirens fehle?

Negative Stromesschwankung beim Tetanisiren auf nicht elektrischem Wege. Die ersten Bemühungen, welche Du Bois machte, eine negative Stromesschwankung durch Tetanisiren auf nicht 300

elektrischem Wege nachzuweisen, waren so gut wie vergeblich. Es zeigte sich, daß sein Multiplicator zu diesen Versuchen bei weitem nicht empfindlich genug war. — Es blieb nichts übrig, als zur Construction eines neuen Instrumentes zu schreiten, die denn auch alsbald unternommen wurde. Der neue für die Untersuchungen am Nervenstrom bestimmte Multiplicator hatte 24160 Windungen. Der Ischiadicus eines Frosches warf die Nadel desselben mit Heftigkeit an die Hemmung und hielt sie in einer beständigen Ablenkung von 40 — 50°. Der Muskelstrom hielt sie beständig an der Hemmung.

Daß die Handhabung eines so empfindlichen Instrumentes mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft ist, versteht sich von selbst. Du Bois giebt darüber sowohl, wie auch über die Construction des Instrumentes ausführliche Mittheilungen.

Wirklich gelang es nun Du Bois, mit diesem Multiplicator während des Tetanisirens der Nerven auf anderm, als elektrischen Wege eine negative Schwankung ihres Stromes wahrzunehmen. Immerhin aber bleibt diese Erscheinung eine der zartesten, welche das Gebiet der experimentellen Wissenschaft aufzuweisen haben mag. Auch so noch geht stets eine große Mehrheit von Versuchen an den zahllosen Schwierigkeiten zu Grunde, von denen ihr Gelingen umgeben ist. Stets bleibt dasselbe mehr oder weniger in der Hand des Zufalls.

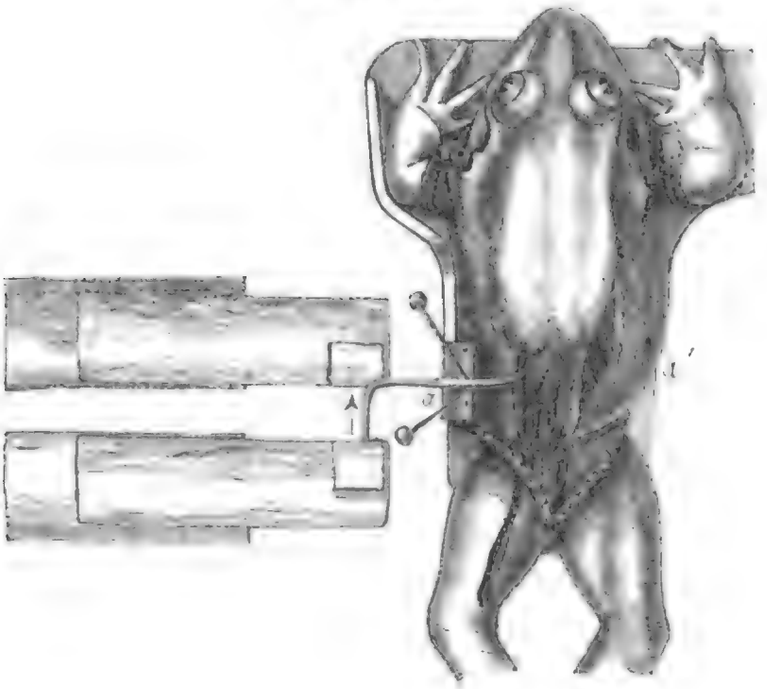
Um die Nerven vom Rückenmark aus durch Strychninvergiftung zu tetanisiren und die entsprechende negative Stromesschwankung nachzuweisen, wird folgendermaßen verfahren: Der Frosch wird auf einem dazu bestimmten Rahmen befestigt, vergiftet, die Arteria iliaca communis sinistra unterbunden, der Nerv von der Kniekehle bis an die Wirbelsäule frei zugerichtet, um mit seinem freien unteren Ende mit Längs- und Querschnitt über die Bäusche gebreitet zu werden, wie Fig. 322 andeutet.

Du Bois bezeichnet diesen Versuch als einen ungemein schwierigen. Nur von Zeit zu Zeit glückt er nach Wunsch und bietet dann folgende Erscheinung dar: Im Augenblick der tetanischen Strychnininnervation weicht die Magnetnadel um 1—3°, auch wohl um 4° zurück und nimmt sofort, jedoch nicht ganz, die vorige Höhe wieder ein. Sie thut dies nicht allein beim ersten Hauptanfall, der sich nach einer gewissen Zeit von selber einzustellen pflegt, sondern auch bei den einzelnen Stößen von ungleich kürzerer Dauer, welche man bereits vor dem Hauptanfalle im Stadium der Reflexbewegung durch Berührung hervorrufen kann.

Wird ein ausgeschnittener Nerv mit dem einen Ende in der bekannten Weise über die Bäusche ausgebreitet, so tritt unter günstigen Umständen eine negative Schwankung von 1 — 3° ein, wenn das andere Nervenende gequetscht oder gebrannt wird.

Das Tetanisiren des Ischiadicus von seinen Hautverzweigungen aus wurde auf folgende Weise bewirkt: Ein stromprüfender Froschschenkel, dem

Fig. 322.



jedoch die Haut gelassen ist, wird in den schrägen Schenkel eines communicirenden Rohres gesteckt und sein Kniegelenk durch ein passendes Korkstückchen an der obern Mündung festgehalten. Der Nerv liegt auf den Bäuschen auf. — Gießt man nun in den andern, vertikal stehenden Schenkel durch eine trichterförmige Oeffnung desselben eine siedende Kochsalzlösung ein, so steigt sie in dem schrägen Schenkel langsam empor und verbrüht Schritt für Schritt und durch und durch den darin befindlichen Unterschenkel. Während nun ein Frosch, den man sich am oberen Ende des Ischiadicus denkt, sich in gräßlicher Qual winden würde, sieht man hier die Nadel die bekannte negative Schwankung vollziehen.

Du Bois hat alle Einwendungen, die man etwa gegen diese Versuche machen könnte, gründlich beseitigt; doch können wir hier unmöglich weiter in Details eingehen.

Secundäre Zuckung von den Nerven aus. Um zu untersuchen, 301
ob die negative Stromesschwankung beim Tetanisiren der Nerven stetiger oder unterbrochener Art sey, müssen wir das physiologische Rheoskop, den stromprüfenden Froschschenkel, an die Stelle des Multiplicators setzen. Ist die Schwankung stetiger Natur, so wird er unter allen Umständen in Ruhe bleiben, höchstens zu Anfang oder zu Ende derselben eine Zuckung zeigen dürfen. Ist sie unterbrochener Art, so wird dagegen der stromprü-

fende Schenkel in ſecundären Tetanus gerathen müſſen, wofern nur die einzelnen Stöße tief und ſchnell genug ſind, und der Schenkel hinreichende Erregbarkeit beſitzt, damit Zuckung ſtattfinden könne.

Der Verſuch wird in folgender Weiſe angeſtellt. Die Platinenden der ſtromzuführenden Vorrichtung ſind mit den Enden einer Grove'ſchen Kette verbunden. In den Kreis iſt ein Unterbrechungsrad eingeſchaltet. Ein Iſchiadicus wird über die Platinenden gebreitet. An Längs- und Querſchnitt des außerhalb der Platinenden auf der Glastafel ruhenden Theiles des Nerven legt man den Nerven des zur ſecundären Zuckung beſtimmten Unterſchenkels mit zwei Punkten des Längsſchnittes an. Wird das Rad gedreht, ſo tritt ſecundärer Tetanus, vom Nerven aus, ein.

Hier treten aber im primitiv erregten Nerven zweierlei Wirkungen auf: der elektrotoniſche Zuſtand und die negative Stromesſchwankung. Es iſt alſo noch zu unterſuchen, ob der ſecundäre Tetanus vom raſch aufeinanderfolgenden Eintreten und Verſchwinden des elektrotoniſchen Zuſtandes oder ob er von der negativen Stromesſchwankung herrührt. Die folgenden Ergebniſſe ſind in dieſer Beziehung beſonders entſcheidend.

Man erhält die ſecundäre Zuckung, auch wenn die beiden Nervenenden nur neben einander gelegt ſind; es iſt alſo nicht nöthig, daß der primitiv erregte Nerv den andern mit Längs- und Querſchnitt berührt.

Die Nähe der Elektroden übt einen entſcheidenden Einfluß auf die Stärke der Zuckungen aus. Iſt die Nervenſtrecke zwiſchen den Elektroden und der Berührungsſtelle der beiden Nerven ſehr groß, ſo tritt keine ſecundäre Zuckung mehr ein.

Da der elektrotoniſche Zuſtand mit der Entfernung von den Elektroden weit raſcher abnimmt, als die negative Stromesſchwankung, ſo kann nach dieſen Reſultaten kein Zweifel bleiben, daß der Eintritt und das Aufhören des elektrotoniſchen Zuſtandes die ſecundäre Zuckung erzeugen und daß dieſelbe nicht durch die negative Stromesſchwankung hervorgebracht werden kann.

Wird der Nerv auf irgend eine nicht elektriſche Weiſe tetaniſirt, ſo iſt er unfähig, eine ſecundäre Zuckung zu erzeugen. Die Reizung muß durchaus eine elektriſche ſeyn.

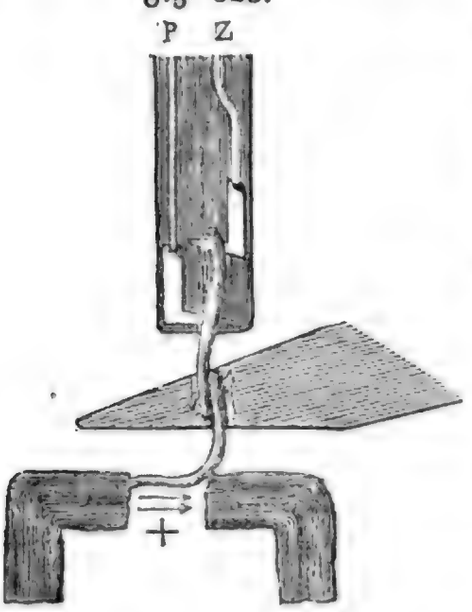
Die Frage nach der ſtetigen oder unterbrochenen Natur negativer Stromesſchwankung kann alſo wohl auf dieſem Wege nicht entſchieden werden.

Die ſecundäre Zuckung vom Nerven und diejenige vom Muskel aus ſind nach alledem hinſichtlich ihres Urſprungs wohl auseinander zu halten. Die letztere rührt her von der negativen Schwankung bei der Zuſammenziehung, ſie iſt daher unabhängig von der Art und Weiſe, wie die Zuſammenziehung hervorgebracht wurde. Die ſecundäre Zuckung vom Nerven aus rührt weſentlich her vom Eintritt oder vom Aufhören des elektroto-

nischen Zustandes, und ihr Zustandekommen ist deshalb gebunden an diese besondere Art der Erregung des Nerven, nämlich die Reizung auf elektrischem Wege.

Du Bois hat nun ferner nachgewiesen, daß sich auch der elektrotonische Zustand von dem unmittelbar elektrisch erregten Nerven auf den mittelbar zu erregenden überträgt; er hat gezeigt, daß der letztere gleichzeitig mit dem ersteren im Augenblick der Schließungszuckung in elektrotonischen Zustand geräth und ebenso gleichzeitig mit jenem im Augenblick der Oeffnungszuckung aus demselben wieder austritt. Es versteht sich von selbst, daß der Zuwachs in diesem secundären elektrotonischen Zustande an dem Multiplicator für den Muskelstrom auf eine bloße Spur zurücksinkt; an dem Multiplicator für den Nervenstrom hingegen ist die Wirkung noch sehr ausgesprochen: bei mittleren Verhältnissen erfolgen 8—10° Ausschlag. Fig. 323 erläutert die Anstellung des Versuchs.

Fig. 323.



In der zweiten Hälfte des zweiten Bandes, welche hoffentlich bald erscheinen wird, will Du Bois zunächst das Verhalten des Muskelstromes am lebenden unversehrten Körper der Thiere und des Menschen besprechen.

Eine hierher gehörige Erscheinung hat jedoch Du Bois bereits, wenn auch nur in aller Kürze, in den comptes rendus (t. 30, Seite 349) veröffentlicht, nämlich die, daß durch willkürliche Contraction der Muskeln den Armen eines lebenden Menschen ebenfalls die negative Schwankung des Muskelstromes sichtbar gemacht werden kann. Ueber die Art, wie der Versuch anzustellen ist, wird an der citirten Stelle nichts Näheres gesagt. Mir ist der Versuch in folgender Weise gelungen: An die beiden Enden des Multiplicatordrahtes wurden die kupfernen Handhaben einer Magnetelektrisirmaschine eingeschraubt. Sobald man sie mit den befeuchteten Händen anfaßte, verließ die Multiplicatornadel ihre Gleichgewichtsstellung, um nach einigen Oscillationen wieder, wenn auch nicht mehr genau im Nullpunkt, zur Ruhe zu kommen. Contrahirt man nun die Muskeln des einen Arms und der einen Hand, indem man die Handhabe kräftig drückt, so sieht man sogleich die Nadel ihre neue Gleichgewichtslage verlassen, um einen Ausschlag von 10 bis 20 Grad nach der einen Seite zu machen. Zieht man jetzt, wenn die Nadel ihren Rückschwung beginnt, die Muskeln des zuerst contrahirten Armes in Ruhe lassend, die Muskeln des

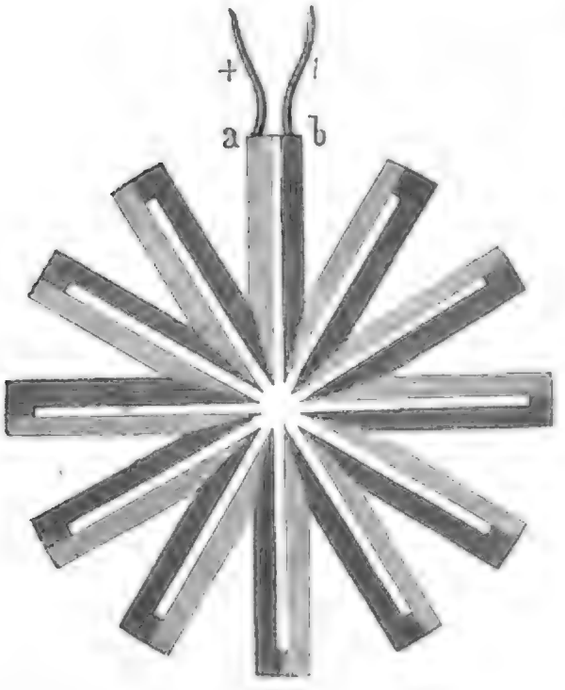
andern Arms zuſammen, ſo kann man dadurch die Nadel auf der andern Seite noch weiter aus der Gleichgewichtslage treiben. Wechſelt man auf dieſe Weiſe mit der Contraction der Arme in den gehörigen Momenten ab, ſo kann man bedeutende Oſcillationen hervorbringen. An meinem Multiplicator von 3700 Windungen habe ich es leicht bis zu einem Ausſchlag von 40—50 Grad auf jeder Seite der Gleichgewichtslage gebracht.

Elfter Abſchnitt.

Thermoelektricität.

Thermoſäulen. Nobili gab (Pogg. Ann. 36. Bd. p. 525) 302
zwei neue Conſtructionen der Thermoſäule an, wodurch dieſelbe empfindlicher und bequemer wird; er nennt die eine Strahlenſäule und die andere Schlitzſäule. Die Strahlenſäule hat folgende Einrichtung: die Stäbchen ſind ſämmtlich paarweiſe ſo zuſammen gelöthet, wie Fig. 324 zeigt, wo *a* und *b* die beiden letzten Elemente mit den angelötheten Leitern vorſtellen.

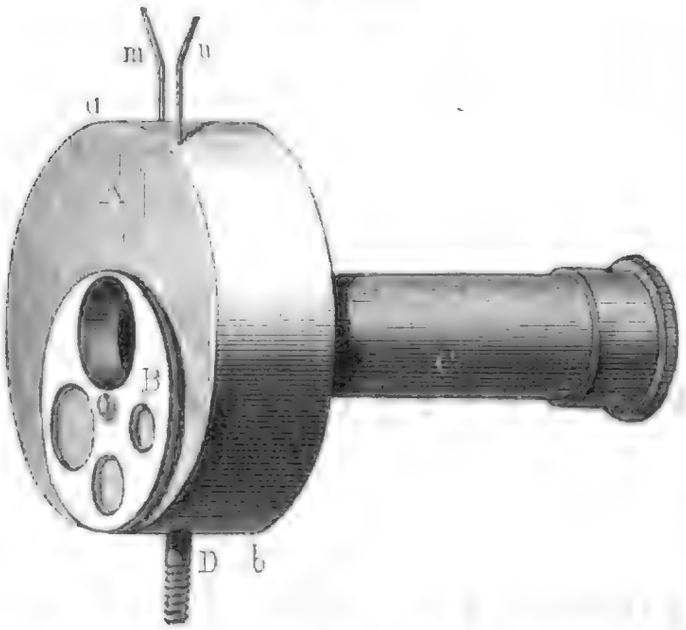
Fig. 324.



Nach dem Verlöthen werden ſie mittelſt Harz auf eine Holzſcheibe gekittet, welche in der Mitte eine Oeffnung hat. Dieſe Scheibe kommt in die meſſingene Kapſel *ab*, Fig. 325 (ſ. f. S.), welche in jedem Boden eine Oeffnung von etwa 15 Millimeter Durchmeſſer erhält. Die Oeffnung auf *A* kann mittelſt des Schiebers *B* verändert werden, indem die auf dem Schieber befindlichen Oeffnungen von 3 — 12 Millimeter ſteigen. Dieſe Oeffnung dient die Wärmeſtrahlen einzulaſſen. Vor der Oeffnung des andern Bodens iſt das Rohr *C* befeſtigt, das in ſeinem Deckel eine ganz kleine, noch durch ein Glimmerblatt verſchloſſene Oeffnung hat, um der Säule

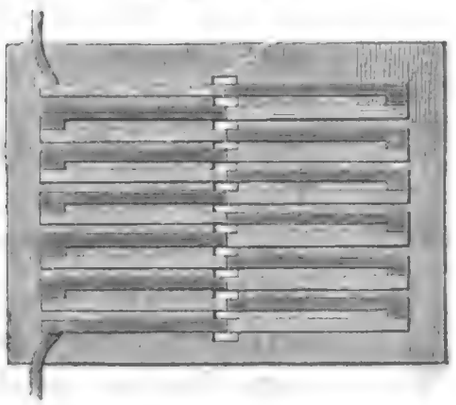
die genaue Stellung geben zu können, indem man durch die kleine Oeffnung und den Mittelpunkt der Säule ſelbſt nach der Wärmequelle ſieht; der Zapfen *D* dient zur Befeſtigung auf irgend ein Stativ; die Drähte *m n* gehen iſolirt durch die Meſſingkapſel und ſind an die Pole der Säule verlöthet. Nobili hat ſolche Säulen von 8 bis 20 Paaren angefertigt, zweifelt aber, ob der durch letztere Zahl erreichbare Vortheil für die ungemein ſchwierige Ausführung entſchädige. Die Vortheile dieſer Conſtruction liegen hauptſächlich darin, daß man auch bei ſehr kleinen Bündeln von Wärmeſtrahlen dennoch alle Elemente der Säule in Wirkſamkeit hat, und daß man in Fällen, wo die Einwirkung zu ſtark wäre, leicht durch den Schieber *B* abhelfen kann.

Fig. 325.



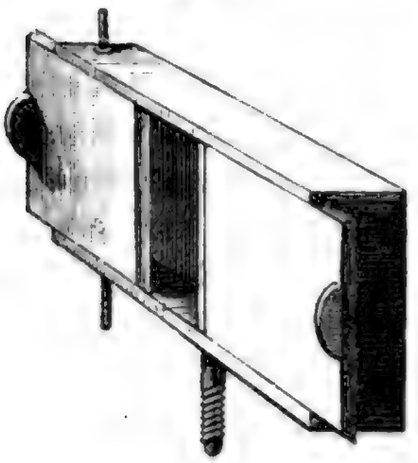
Die Schlitzſäule iſt vorzüglich beſtimmt, um ſchmale geradlinigte Wärmequellen anwenden zu können, wie z. B. bei Interferenzverſuchen. Zu dem Ende ſind die Elemente ebenfalls alle in einer Ebene angebracht, ſo aber wie Fig. 326 zeigt, wobei die gleichnamigen Löthſtellen alle in einer geraden Linie unter einander liegen. Nobili nahm dieſelben ſo fein, daß 8 derſelben ſammt dem Zwiſchenraum nur 15 Millimeter Platz erfordern, wie etwa in der Figur. Bei dieſer Zartheit bleibt nichts anderes übrig, als die fertige Säule mittelſt Harz ebenfalls auf ein Brettchen zu kitten, welches für die mittlere Reihe der Löthſtellen einen Schlitz hat. Mit dieſem Brettchen kommt die Säule in ein Käſtchen, wie Fig. 327, das vorn nur durch zwei Schieber geſchloſſen iſt, zwiſchen denen man für den Eintritt der Wärmeſtrahlen eine be-

Fig. 326.



liebige Spalte offen lassen kann; auf der entgegengesetzten Seite hat das Kästchen ebenfalls einen Schlitz, der durch ein Glimmerblatt verschlossen ist, und durch welchen hindurch man die Säule nach der Wärmequelle richten kann.

Fig. 327.



Munke hat in Pogg. Ann. 47. Bd. eine detaillirte Anleitung gegeben, wie man beim Verlöthen der Säulen zu verfahren habe. Diese Anleitung bezieht sich jedoch vorzugsweise auf größere Säulen, und ich glaube daher, es dürfte hier an der einfachen Erwähnung genügen, da Jeder die Sache selbst am angeführten Orte nachsehen kann, wenn er in den Fall kommt, die genannten Arbeiten vorzunehmen. Munke hat Stäbe angewendet von 27 Linien Länge, 5 Linien Breite und 4 Linien Dicke; solcher Stäbe verwendete er 81 zu einer Säule aus 9 Reihen, die Zwischenräume wurden mit Gyps gefüllt und dieser mit Schellackfirniß getränkt, um die eine Seite mit schmelzendem Schnee in Berührung bringen zu können. Auf die andere Seite wurde in geringem Abstand eine Kupferplatte mit aufgebogenem Rande gelegt, und auf diese glühende Kohlen. Versuche, welche damit gemacht wurden, werden weiter unten erwähnt.

Ketten für große Temperaturdifferenzen werden aus Eisen und Platin gefertigt; für solche Fälle, wo man es mit nicht ganz hohen Temperaturen zu thun hat, schlug Poggendorff (Ann. 50. Bd.) eine Kette aus Eisen und Neusilber vor, welche viel wohlfeiler und empfindlicher ist, da Neusilber in der thermoelektrischen Reihe positiver ist als Platin. Poggendorff hat sich durch directe Versuche von der größern Wirkung einer solchen Kette bei gleicher Temperaturdifferenz überzeugt.

Wirkungen der Thermoelektricität. In der hier zu betrachtenden 303
Epoche wurden insbesondere noch Versuche angestellt, um nachzuweisen, daß man durch Thermoströme der Art nach alle Wirkungen erhalten könne, welche hydroelektrische Ströme hervorbringen. In dieser Beziehung zeigte Watkins (Pogg. Ann. 42. Bd. und Phil. Mag. XI, p. 304), daß der Thermostrom auch Magnetismus errege, und zwar brachte Watkins mit einer Kette aus 30 Paaren Wismuth und Antimon in Platten von $1\frac{1}{2}$ Quadratzoll und $\frac{1}{3}$ Zoll Dicke einen Elektromagnet zu Stande, der 90 Pfund trug. Die Erregung geschah einerseits durch die Strahlung von glühendem Eisen, andererseits durch Eis. Auch Munke hatte mit seiner

oben erwähnten großen Thermoſäule kräftige magnetiſche Wirkung erhalten.

Funken hat Munke beim Schließen der Kette nicht erhalten, wohl aber beim Oeffnen, wenn dieſelbe mit einer Inductionsſpirale verbunden war, und Watkins will (Pogg. Ann. 42. Bd. p. 589) ſolche in dieſem Falle ſelbſt durch eine einfache Wismuth-Antimon-Kette erhalten haben, obwohl jeder Stab nur 0,5 Zoll lang und 0,12 Zoll dick war und nur 5 Gran wog. Indeſſen ſind die näheren Umſtände nicht angeführt.

Auch Waſſerzerſetzung hat Botto in Turin zu Stande gebracht, die näheren Umſtände ſind mir jedoch nicht bekannt. Auch Andere haben ähnliche Verſuche mit Erfolg angeſtellt, namentlich Alexander (Poggendorff's Ann. 42. Bd.); er benutzte hierzu einen gewöhnlichen Waſſerzerſetzungsapparat und durch ſehr wenig Schwefelſäure angeſäuertes Waſſer. Seine Batterie beſteht aus einer horizontalliegenden vierſeitigen Säule von 25 Elementen aus Wismuth und Antimon, jede Platte zu $1\frac{1}{2}$ □″ Fläche und 1‴ Dicke. Die Elemente ſind mit Zinn gelöthet. Munke konnte mit ſeiner Säule keine Waſſerzerſetzung erhalten, wohl aber mit Hülfe einer großen Spirale beim Oeffnen der Kette ſchwache Erſchütterungen.

304 **Wärmeentwickelung** erhielt Watkins durch den Thermoſtrom in einem nach der Angabe von Harris gefertigten Luftthermometer, ſo wie in einem Breguet'ſchen Metallthermometer. In beiden Fällen war die directe Wärmeleitung der Kupferdrähte dadurch aufgehoben, daß dieſelben mit Eis umgeben waren.

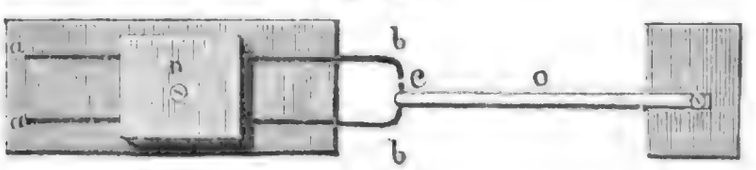
305 **Thermoelektriſche Erſcheinungen bei Berührung gleichartiger, aber ungleich warmer Körper** wurden von Vielen beobachtet, wie von Becquerel (Pogg. Ann. 44. Bd.), von Matteucci (Pogg. Ann. 47. Bd.), Vorſſelman de Heer (ebend. im 49. Bd.), von Henrici (Pogg. Ann. 80. Bd.). Daß bei Berührung von zwei gleichartigen Leitern, deren einer erwärmt iſt, und die mit dem Multiplicator verbunden ſind, ein elektriſcher Strom entſtehe, fand man ſo ziemlich allgemein beſtätigt; allein über die Richtung dieſes Stromes wurden abweichende Reſultate erhalten. Einen Theil dieſer Abweichungen erklärte de Heer durch Berückſichtigung der thermoelektriſchen Eigenſchaften des Queckſilbers, denn Matteucci hatte die ungleich warmen Metalle durch Queckſilber in Berührung gebracht. In dieſen Fällen handelte es ſich alſo, wie de Heer richtig erläutert, nicht mehr um Berührung gleichartiger Metalle, und er zeigt aus den erhaltenen Reſultaten, daß die thermoelektriſche Reihe folgende ſeyn müſſe: Wismuth, Queckſilber, Platin,

Kupfer, Zink, Silber, Eisen, Antimon. Eine besondere Discussion veranlaßte zwischen den obengenannten Beobachtern die Frage, ob auch dann ein elektrischer Strom entstehe, wenn heißes und kaltes Queckſilber in Berührung komme; ſie wurde von Becquerel und de Heer bejaht, von Matteucci und Henrici verneint. Die Verſuche wurden im Allgemeinen ſo angeſtellt, daß zwei Portionen Queckſilber durch gleichartige Drähte mit dem Multiplicator verbunden wurden, hierauf wurde die eine Portion an einer Stelle erwärmt und dann beide Portionen in Berührung gebracht. Es handelte ſich hierbei darum, das Queckſilber entweder in Glasröhren oder hölzernen Rinnen in ſo lange Fäden zu bringen, daß nicht etwa ſchon vor der Schließung die der einen Portion mitgetheilte Wärme ſich bis zu dem darin befindlichen Drahte fortpflanzt, und ſo erklären auch diejenigen die poſitiven Reſultate der andern Beobachter, welche ſelbſt nur negative erhielten. Entſchieden ſcheint dieſe Frage noch nicht zu ſeyn.

Eine Hauptfrage bei den hierher gehörigen Verſuchen war natürlich die, ob der Strom bei Berührung gleichartiger Metalle an der Berührungsſtelle vom heißen zum kalten Drahte oder umgekehrt laufe. De Heer giebt nach ſeinen Verſuchen an, der Strom gehe bei Kupfer und Platin vom heißen zum kalten Metall, bei Zink, Eiſen und Silber aber vom kalten zum heißen, während bei Wismuth und Antimon die Richtung zweifelhaft blieb, indem ſie von der Temperaturdifferenz abhängig war, ſo daß z. B. bei Antimon der Strom vom Kalten zum Warmen ging, wenn die Temperaturdifferenz groß war, und bei geringerer Differenz eine umgekehrte Richtung annahm.

Henrici fand, daß überhaupt die angewendete Temperatur bei dieſen Erſcheinungen von großem Einfluß ſey, indem hohe Temperaturen nicht nur die Beſchaffenheit der Oberflächen, ſondern auch die innere Structur der Drähte ändern, und dadurch die Erſcheinungen weſentlich modificiren. Er wendete daher in der Regel immer nur ſehr mäßige Temperaturdifferenzen an. Der Apparat, welchen Henrici anwendete, war folgender: Auf einem mit Leinöl gefirnißten Holze konnten die anzuwendenden Drähte, deren Enden *a a*, Fig. 328, mit dem Multiplicator verbunden

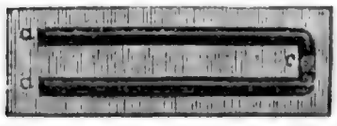
Fig. 328.



waren, mittelſt des Brettchens *n* ſo befeſtigt werden, daß ihre rechtwinklig gebogenen Enden *b*, die auf mattem Glaſe eben geſchliffen waren, bei *c*

durch leichte Federung in Berührung kamen. Auf den einen Draht wurde nun das Ende eines an einem Klötzchen befeſtigten Meſſingſtreifens gelegt und dieſer dann irgendwo, etwa bei *o*, durch eine darunter geſetzte kleine Oellampe, deren Flamme das Metall nicht berührte, erwärmt. Bei Verſuchen mit Queckſilber befand ſich daſſelbe in einer in Holz geſchnittenen Rinne, deren halbe Länge *a c*, Fig. 329, 28 Centimeter betrug, und war bei *a a* mit dem Multiplicator verbunden und bei *c* durch eine eingeſchobene Scheidewand aus Kork getrennt. Die Erwärmung des Endes der einen Rinne geſchah hier durch einen Eiſenſtreifen. Die Scheidewand wurde weggenommen, wenn das Queckſilber auf der einen Seite derſelben erwärmt war.

Fig. 329.



Mit dieſem Apparate erhielt Henrici die in folgender Tabelle enthaltenen Reſultate, wobei die Stromsrichtung vom Warmen zum Kalten (an der Berührungsſtelle) als poſitiv bezeichnet iſt.

Metalle.	Strom.	Abweichung am Galvanometer.
1. Kupfer in Drähten	+	3°, 4°
2. Meſſing in Drähten	+	5°, 4°
3. Silber in Drähten aus gewöhnlichen Thalern	+	3°, 1°
4. Dieſelben Drähte geglüht	+	4°, 3½°
5. Silber in Drähten (von den feinſten hannöverſchen Thalern, ſehr rein)	—	2°, 3°
6. Dieſelben Drähte, beide geglüht	—	1°, 1°
7. Zinn in Drähten	+	3½°, 2°
8. Kadmium desgl.	+	2°, 1½°
9. Platin desgl.	+	5°, 4°
10. Daſſelbe geglüht.	+	7°, 6°
11. Gold in Drähten	+	5°, 5½°
12. Neuſilber desgl.	+	6°, 7°
13. Nickel in Streifen	+	13°,14°
14. Zink in Streifen	—	11°,12°
15. Zink in Drähten	—	14°,16°
16. Eiſen desgl.	—	15°,16°
17. Antimon in dünnen Stangen	—	20°,20°
18. Wismuth desgl.	—	40°,50°
19. Blei in Drähten		0°
20. Queckſilber		0°

Die Drähte waren nicht über 2 Millimeter dick, und die beiden in der Tabelle enthaltenen Ablenkungen wurden erhalten, jenachdem der eine oder der andere Draht erwärmt wurde.

Welch großen Einfluß Aenderungen in der Härte ꝛc. auf den Erfolg haben, zeigen folgende mit den Messingdrähten Nr. 2 von Henrici angestellte Versuche. Zuerst gaben sie bei abwechselnder Erwärmung positive Ströme von 4° und 5°, nachdem sie aber in einer Weingeistflamme stark ausgeglüht und mit Bimsstein gereinigt waren, negative Ströme von $1\frac{1}{2}$—3°. Geglüht während fortgesetzter Berührung gaben dieselben Drähte nach dem Erkalten und ohne vorherige Reinigung bei abwechselndem Erwärmen Ströme von 20°—30°. Als die Enden nachher flach gehämmert und wieder gereinigt waren, gab die Erwärmung des einen Endes einen positiven Strom von 3°, die Erwärmung des andern einen negativen von $5\frac{1}{2}$°. Nach wiederholtem Glühen und Reinigen gaben die Drähte zuerst positive Ströme von $\frac{1}{4}$° und $\frac{1}{2}$° und bei zunehmender Erwärmung negative von 4° und 5°. Das auffallendste Beispiel von solchen Umkehrungen der Stromesrichtung erhielt Henrici an zwei Kadmiumdrähten, sie gaben anfangs positive Ströme von $1\frac{1}{2}$° und 2°, bei größerer Wärme negative von 4° und 4°, dann wieder positive von 3° und doch zeigten sich beim Abnehmen der Drähte beide Berührungsstellen völlig glänzend und anscheinend frei von Oxyd.

Henrici hat auch den Erfolg untersucht, wenn der ununterbrochene Schließungsdraht des Galvanometers an irgend einer Stelle erwärmt wurde. Er verwendete hiezu Drähte von Kupfer, Messing, Platin, Zink, Neusilber, Eisen und Kadmium und fand beinahe an allen solche Stellen, deren Erwärmung durch den Messingstreifen bald einen positiven, bald einen negativen Strom hervorrief. Da Henrici geneigt ist, den Erfolg bei getrennten Drähten, deren einer erwärmt wird, einer dadurch bewirkten weitern Ungleichheit entweder der Structur im Innern oder der Beschaffenheit der Oberfläche anzunehmen, so schließt er aus den eben angeführten Versuchen, daß an den wirksamen Stellen dieser ganzen Drähte ebenfalls innere Structurverschiedenheiten vorhanden seyen. Henrici vermuthet ferner, daß die Veränderungen in der Beschaffenheit der Oberfläche und der Structur, welche durch die Erwärmung bewirkt werden, eine Ungleichheit in dem Strahlungsvermögen im Gefolge haben möchten, und daß hierin der eigentliche Grund der ganzen Reihe der Erscheinungen liege, obwohl er zugesteht, daß bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse über die Bewegung der Wärme im Innern der Körper noch nicht wohl daran gedacht werden könne, zu erklären, wie eine Aenderung in der Richtung dieser Bewegung Elektricitätsentwickelung zur Folge haben könne. Merkwürdig bleibt jedenfalls für eine künftige Theorie die von Henrici festgestellte Erfahrung, daß das Ausglühen die Metalle in der thermoelektrischen Reihe dem Wismuth näher bringt.

306 **Pyroelektricität der Kryſtalle.** Schon Hauy erkannte, daß das Auftreten der Elektricität beim Erwärmen gewiſſer Kryſtalle mit der Hemiëdrie derſelben im Zuſammenhang ſtehe, ohne jedoch die Art dieſes Zuſammenhanges näher zu verfolgen. Brewſter (Pogg. Ann. 2. Bd. p. 301) entdeckte ſpäter viele Körper, welche beim Erwärmen polar-elektriſch werden, ohne daß an den Kryſtallen derſelben bis jetzt eine Hemiëdrie beobachtet worden wäre; daher man noch nicht berechtigt iſt, anzunehmen, daß galvaniſche Elektricität und polariſche Hemiëdrie ſtets eine Folge von einander ſind.

Die Erſcheinung der polaren Elektricität während des Erwärmens oder des Erkaltens findet ſich aber doch am ſtärkſten an hemiëdriſchen Kryſtallen ausgeprägt und hier findet auch ein beſtimmter Zuſammenhang zwiſchen der elektriſchen Polarität und der Kryſtallform ſtatt. Köhler (Pogg. Ann. 13. Bd. p. 629) hat dies für Borazit und Kieſelzinkerz nachgewieſen, bei dem Turmalin aber hatte er einen ſolchen noch nicht ausfindig gemacht.

Roſe (Pogg. Ann. 39. Bd. p. 285) hat die Beziehungen der elektriſchen Polarität des Turmalins zu ſeiner Kryſtallform ausführlich unterſucht und gelangt zu folgendem Reſultate: Die vorherrſchende Form des Turmalins iſt eine dreiſeitige Säule, welche an beiden Enden durch Rhomboederflächen begränzt iſt; an dem einen Ende nun treffen die Kanten des Rhomboeders auf die Kanten der Säule, wie Fig. 330, wo *g* die zur Linie verkürzten Säulenflächen, *R* die Rhomboëderflächen ſind. Am andern Ende aber treffen die Rhomboëderkanten auf die Mitte der Säulenflächen, wie Fig. 331 zeigt. Während die Temperatur ſteigt, zeigt nun das Ende Fig. 330 poſitive, das Ende Fig. 331 negative Elektricität; bei ſinkender Temperatur hingegen iſt das Ende Fig. 330 negativ, das andere aber poſitiv elektriſch.

Fig. 330.

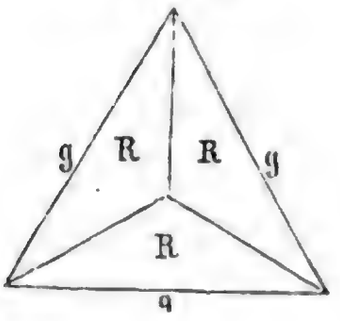
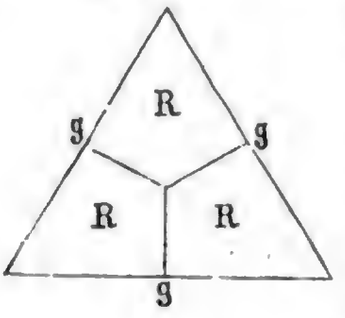


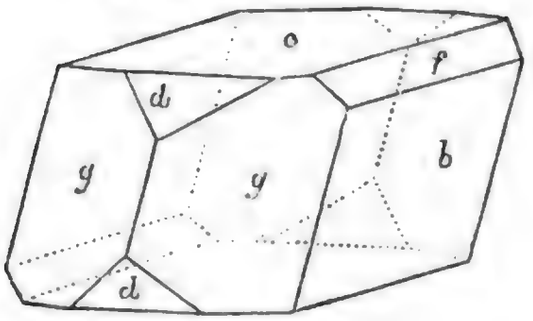
Fig. 331.



Hankel (Pogg. Ann. 49. Bd. p. 493) wandte zur Beſtimmung der elektriſchen Polarität von Kryſtallen das Bohnenberger'ſche Elektroſkop an. Der Zucker zeigte eine ſolche Polarität, wenn ſeine Temperatur ſtieg oder abnahm, wie dies bereits Brewſter beobachtet hatte. Die Kryſtallform des Zuckers iſt die Fig. 232 dargeſtellte; er iſt aber häufig in der Art hemiëdriſch, daß die beiden Flächen *d* an der vorderen Kante

fehlen, während sie an der gegenüberstehenden hintern Kante auftreten. Hankel fand nun, daß beim Erkalten dasjenige Ende negativ elektrisch ist, an welchem die Flächen *d* fehlen, positiv hingegen an der gegenüberliegenden Kante, wo sie sich vorfinden. Beim Erwärmen zeigt der Krystall natürlich die entgegengesetzte Polarität.

Fig. 332.



Hankel untersuchte ferner in dieser Beziehung die Weinsäure, das weinsaure Kali-Natron, das Kieselzinkerz, bei welchem er Köhler's Angaben bestätigt fand, den Axinit, Prehnit und Mesotyp. Wir können hier natürlich nicht auf die Details dieser Untersuchung eingehen.

In mehreren Aufsätzen, die sich im 50. Bande von Poggendorff's Annalen finden, bespricht Hankel ferner die elektrische Polarität des Turmalins, bei welchem er Rose's Angaben bestätigt findet, des Topases, des Titanits, des Borazits und des Bergkrystalls.

Eine neue gründliche Untersuchung des besprochenen Gegenstandes haben G. Rose und Rieß angestellt. Sie bezeichnen die beim Erwärmen und während der Erkaltung von Krystallen auftretende Elektricität, nach Brewster's Vorgang, mit dem Namen der Pyroelektricität, um nicht zwei ganz verschiedene Erscheinungen unter dem Namen der Thermoelektricität zusammenzufassen.

Denjenigen Pol des Krystalls, an welchem das algebraische Zeichen des Temperaturzuwachses dem Zeichen der dadurch erregten Elektricität entspricht, nennen sie den analog elektrischen Pol; den andern Pol nennen sie den antilog elektrischen Pol.

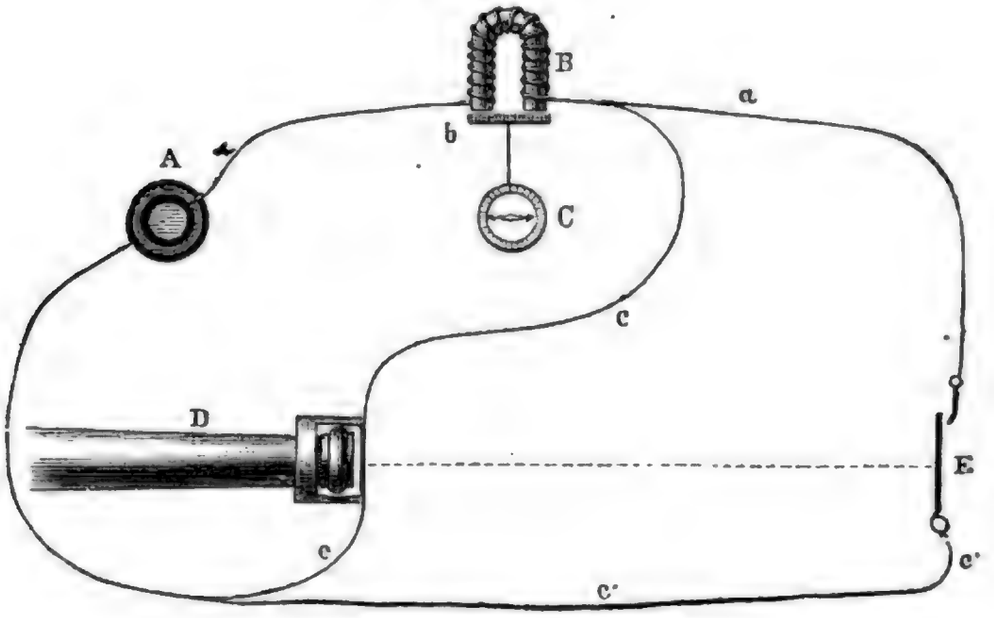
Beim Turmalin ist demnach das Ende, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Kanten des dreiseitigen Prismas aufgesetzt erscheinen, Fig. 331, der antilog elektrische Pol, während Fig. 330 den analog elektrischen Pol darstellt.

Beim Borazit fanden Rose und Rieß Köhler's Angaben bestätigt, daß die 4 Hexaëderecken, an welchen sich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die antilogen, die 4 andern, die theils ohne, theils mit matten Tetraëderflächen vorkommen, die analogen Pole sind. Hankel's Behauptung hingegen, daß der Borazit außer diesen 4 Axen noch 3 andere habe, die mit den Octaëderaxen des Krystalls zusammen fallen sollen, bestreiten sie. Sie weisen nach, daß Hankel's Beobachtungsmethode zu Täuschungen Anlaß gab, welche außer dieser noch mehrere andere irrige Behauptungen zur Folge hatten.

Nachträge.

307 **Das elektrische Chronoskop.** Die große Geschwindigkeit der elektrischen Ströme benutzte Wheatstone, um sehr kleine Zeiträume zu messen, und zwar befindet sich die erste Nachricht hiervon nach Wheatstone's eigener Angabe (Compt. rend. XX. p. 1555) in dem Bulletin über die Sitzung der Brüsseler Akademie der Wissenschaften vom 7. October 1840. Die nächste Absicht Wheatstone's war, die Zeit zu messen, welche Geschützkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen. Seine Einrichtung zeigt die schematische Fig. 333.

Fig. 333.



A ist die elektrische Batterie; einer ihrer Pole ist mit dem Elektromagneten *B* verbunden; ist der Strom geschlossen und also der Anker des Magnets angezogen, so steht die Uhr *C* still; verliert aber der Magnet seine Kraft, so zieht eine Feder den Anker *b* ab und dadurch wird das Uhrwerk *C* ausgelöst und läuft so lange bis der Strom wieder geschlossen wird.

Dieses Oeffnen und Schließen der Kette bewirkt die Kugel auf folgende Weise. Um die Mündung des Geschützes *D* ist ein Holzring gelegt, über welchen einer der beiden Drähte *c*, *c'* gespannt ist, welche vom anderen Pole der Säule kommen, das Ende dieses Drahtes geht zum Magnet und schließt die Kette; diese Verbindung wird durch die heraustretende Kugel zerrissen, die Kette geöffnet, und so die Uhr in Bewegung gesetzt. Der zweite Draht *c'* ist mit einem in beliebiger Entfernung aufgestellten Ziele *E* verbunden, welches so eingerichtet ist, daß die geringste Bewegung, welche ihm mitgetheilt wird, eine kleine Metallfeder in dauernde Berührung mit einem Metallstücke bringt, welches durch den Draht *a* mit demselben Pole des Magnets verbunden ist, wie der Draht *c*. Berührte nun die Kugel das Ziel, so wurde dadurch die Kette abermals geschlossen, der Anker angezogen und das Uhrwerk gestellt. Der Zeiger giebt nun die von der Kugel verwendete Zeit an. Ein solches Chronoskop, welches in der Artillerieschule zu Woolwich einer Commission von Officieren vorgezeigt wurde, gab $^1/_{7300}$ Secunden an.

Wheatstone fand indessen eine bedeutende Fehlerquelle darin, daß der Anker nicht rasch genug vom Magnet losging und ebenso nicht rasch genug angezogen wurde; er suchte diesem dadurch abzuhelfen, daß der Magnet vor dem Schusse nur durch ein Element angeregt wurde, dessen Wirkung er durch einen Rheostat so abglich, daß der Anker nur gerade noch haftete. Das Wiederanziehen des Ankers aber, nachdem die Kugel das Ziel berührt hatte, wurde durch 6 kräftige Elemente bewirkt. Allein auch so waren Annäherungen von $^1/_{500}$ — $^1/_{1000}$ Secunde noch ganz unsicher. Wheatstone glaubt aber Annäherungen auf $^1/_{60}$ Secunde sicher erreichen zu können.

Später construirte Wheatstone ein Chronoskop, bei welchem das Gewicht an einem auf der Axe des Hemmrades mit sehr einfacher Hemmung aufgewickelten Faden hing und der Zeiger an derselben Axe steckte. Die Art der Hemmung ist jedoch nicht näher angegeben, so wenig als die übrigen Vorrichtungen, welche Wheatstone anwendete, um mittelst dieses Instruments die Zeit zu messen, welche eine Pistolenkugel zu verschiedenen Flugweiten bei verschiedener Ladung gebrauchte, und zur Messung der Fallzeit bei Fallhöhen von 1 Zoll; er will jedoch sehr übereinstimmende Resultate erhalten haben.

Für den folgenden Apparat gebe ich wörtlich die Beschreibung, wie sie in Pogg. Ann. Bd. 65, S. 458 übersetzt ist. »Eine für gewisse Versuche wichtige Abänderung des Apparats will ich noch erwähnen. Sie besteht darin, daß man, statt die Kette zu öffnen und wieder zu schließen, wie zuvor gesagt, den Elektromagneten mittelst zwei gleicher und entgegengesetzter Ströme im Gleichgewicht hält, und darauf den ersten und

den zweiten Strom unterbricht. Der zweite Strom wird durch eine Kugel unterbrochen, die einen Rahmen durchfliegt, der in parallelen, dicht zusammen liegenden Linien mit einem in der Kette befindlichen, sehr feinen Metalldraht überzogen ist. Diese Vorrichtung liefert die Mittel zur Anwendung eines von dem ersten ganz verschiedenen Chronoskops. Zwei Pendel, von denen das eine halbe Secunden schlägt und das andere einen etwas schnellern Gang hat, werden jedes an dem Ende ihres Schwingungsbogens durch einen Elektromagneten gehalten. Wenn die Kugel aus dem Gewehr fliegt, wird das eine Pendel in Freiheit gesetzt und wenn sie den Metalldraht des Rahmens zerreißt, geschieht es mit dem andern. Man zählt alsdann die Schwingungen eines der Pendel, bis seine Bewegung mit der des andern zusammenfällt, und hernach bestimmt man leicht die Zeit, welche die Anfrage der ersten Schwingungen beider Pendel trennte.«

Es ist mir nicht klar, wie dieser letztere Apparat mit dem Elektromagneten mit zwei entgegengesetzten Strömen in Verbindung steht.

Wheatstone hatte übrigens die Zeichnungen zu seinem Apparate im Mai 1841 auch in Paris gezeigt und auch einen für den russischen Artillerie-Hauptmann v. Konstantinoff verfertigen lassen. Letzterer hätte übrigens gerne einen Apparat gehabt, wodurch man die Geschwindigkeiten einer Kugel auf verschiedenen Stellen ihrer Bahn hätte bestimmen können, ohne daß seine Unterredungen mit Wheatstone in dieser Beziehung zum Ziel führten.

In Paris angekommen, wendete sich v. Konstantinoff an Breguet, um eine Maschine nach seinen Ideen für den genannten Zweck zu erhalten. Breguet verfertigte auch eine solche und beschrieb sie in einer in dem Compt. rend. XX. p. 157 abgedruckten Note. Die Maschine ist sehr complicirt und ihre Beschreibung keineswegs in der Absicht abgefaßt, Andern dadurch eine vollkommen klare Einsicht in dieselbe zu geben. Da meines Wissens keine ähnlichen Maschinen gefertigt wurden und die mit dem einen nach St. Petersburg gekommenen Exemplare angestellten Versuche mir ebenfalls nicht bekannt wurden, so mag hier die Bemerkung genügen, daß der Hauptapparat fünf Elektromagnete hat, wovon drei auf einem Wagen sich befinden, der auf einer Schienenbahn vor einer Walze sich bewegt. Zwei dieser Magnete des Wagens tragen Stifte, welche, so lange der Anker angezogen ist, auf der ebenfalls sich bewegenden Walze einen Eindruck machen.

Herr Breguet hatte die Eitelkeit, nachdem er doch im Eingange der Arbeiten Wheatstone's und der Bekanntschaft von Konstantinoff's mit diesem Erwähnung gethan, und nachdem er die zu erfüllenden Bedingungen aufgezählt hatte, zu sagen: Il nous vint naturellement dans

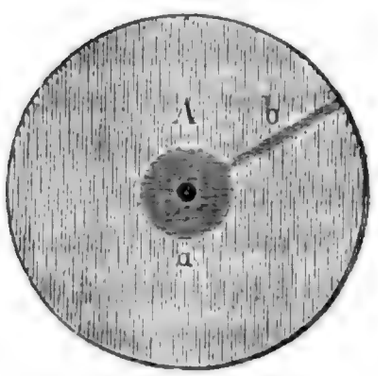
l'idée, d'employer pour cet objet l'électricité, was eben zunächst die Bekanntmachung Wheatston's und eine nicht sehr erquickliche Correspondenz herbeiführte.

Breguet's Veröffentlichung war jedoch durch eine ähnliche von Pouillet hervorgerufen worden, welcher zwar ebenfalls elektrische Ströme, aber auf ganz anderem Wege anwendete.

Pouillet geht nämlich von der Ansicht aus, daß die Größe der Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom von der Stärke des letzteren und der Zeit abhänge, während welcher der Strom auf die Nadel wirkt, wenn diese letztere überhaupt nur klein ist. Man kann also aus dem unter verschiedenen Umständen erfolgenden Ausschlage auf die Zeit schließen, wenn immer der gleich starke Strom angewendet wird und das Verhältniß zwischen Zeit und Ausschlag bekannt ist. Pouillet hat das letztere nicht theoretisch entwickelt, sondern durch Versuche auf folgende Weise eine Tabelle construirt.

Auf eine runde Glasplatte *A*, Fig. 334, von 84 Centimeter Durchmesser, welche um eine Axe gedreht werden konnte, wurde rund um die Axe herum ein ziemlich breiter kreisförmiger Stanniolstreifen *a*, von diesem aus aber ein gerader Streifen *b* als Halbmesser geklebt, der nur ein Millimeter Breite hatte. Von den beiden Stromenden ruhte das eine federnd auf den Stanniolstreifen, das andere auf der Platte; wird letztere gedreht, so schließt sich die Kette so oft und auf so lange, als sich der Stanniolstreifen *b* unter der Feder befindet. Man kann nun aus der Umdrehungszeit der Glasscheibe und der Entfernung der zweiten Feder von der Axe die Zeit der Schließung leicht bestimmen, sie war bei Pouillet, wenn die zweite Feder nahe am Rande der Glasplatte auflag und diese in einer Secunde einmal gedreht wurde, $^1/_{2250}$ Secunden.

Fig. 334.

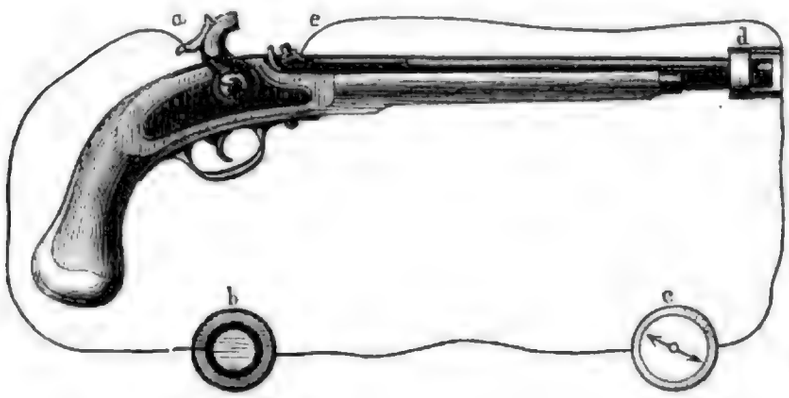


Pouillet fand, daß der Strom einer Säule aus sechs Daniell'schen Elementen, der 40 Meter Kupferdraht von 1 Millimeter Durchmesser zu durchlaufen hatte und während $^1/_{5000}$ Secunde auf die Nadel eines wenig empfindlichen Galvanometers wirkte, eine Ablenkung von 12 Graden bewirkte, welcher Bogen die Nadel in 10 Secunden zurücklegte. Mit einem andern empfindlichern Instrument erhielt Pouillet bei einem Elemente und 20 Meter Kupferdraht in $^1/_{5000}$ Secunde 15^0 Ablenkung.

Pouillet hat nur Versuche über die Geschwindigkeit der Pulverent-

zündung gemacht, wobei er folgende Vorrichtung benutzte Das Schloß eines Gewehres wurde vom Laufe isolirt, und der Hahn *a*, Fig. 335 mit dem einen Pole einer Volta'schen Batterie *b* verbunden. Von dem andern Pole führte ein Draht zum Multiplicator *c* und von diesem über einen Holzring *d* vor der Mündung des Gewehres weg an das Zündhütchen *e*. Die Kette war also geschlossen von dem Augenblick, wo der Hahn aufschlug, bis zu jenem, wo die Kugel den Lauf verließ. Bei der angewendeten Ladung fand Pouillet diese Zeit = $^1/_{140}$ — $^1/_{150}$ Secunden. Pouillet hoffte, daß sein Instrument noch manche andere Anwendungen gestatten werde, namentlich um die Dauer der sogenannten momentanen Ströme zu bestimmen; es scheint aber nicht, als habe dasselbe bei den Physikern vielen Beifall gefunden. Der Entwurf einer solchen Tabelle, wie sie oben erwähnt wurde, ist jedenfalls sehr umständlich.

Fig. 335.



Die Priorität der Erfindung des elektrischen Chronoskops nahm auch Siemens für die preußische Artillerie in Anspruch (Pogg. Ann. 66. Bd. S. 435), indem bereits 1838 der ganze Plan ausgearbeitet gewesen sey und nur die Ausführung des Uhrwerks mit conischem Pendel, das $^1/_{1000}$ Secunden angiebt, habe die wirklichen Versuche bis 1842 aufgehalten; die Sache selbst sey aber seiner Zeit in öffentlichen Blättern besprochen worden.

An dem Uhrwerk war ein Zeiger so angebracht, daß er durch die Wirkung eines Elektromagneten mit dem im Gange befindlichen Uhrwerk verbunden und durch einen zweiten Elektromagneten wieder ausgelöset wurde, wenn die Kugel das Ziel traf.

Man erkannte bald, daß die Erregung des Magnetismus immer einen großen Bruchtheil der zu messenden Zeit in Anspruch nahm und daß das Gleiche mit den mechanischen Zwischengliedern der Fall sey, welche die Bewegung des Ankers auf den Zeiger überpflanzen sollten. Die ersteren Fehler vermied man, indem man statt des Anziehens eines Ankers, das Abfallen eines solchen, der nur noch schwach vom Magnete getragen wurde, benutzte, um auf den Zeiger zu wirken. Während also vorher die Kugel beim Austritt aus dem Rohr sowohl als beim Ankommen am

Ziel eine Kette zu schließen hatte, wurde jetzt in beiden Fällen ein Strom unterbrochen. Man erhielt im Allgemeinen damit im Sommer 1844 befriedigende Resultate.

Siemens selbst hatte die unmittelbare Wirkung des elektrischen Funkens vorgeschlagen, ohne alle mechanischen Zwischenmittel und führte dieses später auch in folgender Weise aus. Ein stählerner, sorgfältig gearbeiteter, isolirter Cylinder, wurde durch ein Uhrwerk mit conischem Pendel in gleichmäßig schnelle Rotation versetzt; diesem möglichst nahe stand eine ebenfalls isolirte Metallspitze, welche mit dem innern Belege einer geladenen Leydner Flasche verbunden war; von dem äußeren Belege führte ein Draht vor der Geschützmündung vorbei und ebenso ein vom Cylinder kommender, beide in einem die Schlagweite übertreffenden Abstande von einander. Die heraustretende Kugel setzt diese beiden Drähte in Verbindung, die Flasche wird entladen und der Funke macht auf dem polirten Stahlcylinder einen leicht erkennbaren, scharf begränzten Punkt. In beliebiger Entfernung ist ein zweites Drahtpaar mit einer zweiten Leydner Flasche aufgestellt, und auf gleiche Weise mit Cylinder und Stift verbunden. Der Abstand beider durch die Entladung bewirkte Punkte auf dem Cylinder und seine Rotationsgeschwindigkeit geben die Zwischenzeit an. Man kann noch mehrere Drahtpaare anbringen oder in größere Entfernungen Rahmen mit parallelen Drähten, wovon z. B. 1, 3, 5 . . . mit dem Cylinder, 2, 4, 6 . . . mit dem äußeren Belege der Flasche verbunden sind. Nach jedem Schusse braucht man nur die Spitze vor dem Cylinder zu verrücken. Das Instrument befindet sich dabei in einem benachbarten Zimmer.

Für größere Bahnstrecken glaubt jedoch Siemens selbst das Instrument nicht brauchbar, da er es für schwierig hält, in diesem Falle die Drähte gehörig zu isoliren. Er schlägt für diesen Fall vor, Cylinder und Stift mit einer Inductionsrolle zu verbinden, um durch den Schuß den inducirenden Strom unterbrechen zu lassen.

Resultate, die man durch solche Versuche erhalten hätte, habe ich nirgends auffinden können. In Wheatstone's Chronoskop erkannte der Uhrmacher und Mechaniker Hipp (Pogg. Ann. 1848, Nr. 8) als Hauptfehler den Umstand, daß das Uhrwerk erst beim Beginne der zu messenden kleinen Zeit in Gang gesetzt wird, wobei nothwendig eine größere, jedoch für alle Versuche etwa gleiche Zeit verstreicht, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen ist, eine Zeit, die in manchen Fällen selbst größer seyn wird, als die zu messende, wenn sie gleichwohl verschwindend klein ist, sobald man den Gang des Uhrwerks mit einer andern Uhr vergleicht. Hipp änderte nun den Apparat dahin ab, daß er den Zeiger der Uhr nur durch den Elektromagneten mit dem schon in Gange befindlichen Uhrwerk

verbinden ließ, so lange die zu messende Zeit dauerte, und Dehlschläger will bei Fallversuchen mit einem solchen Instrumente, welches $^1/_{500}$ Secunden angab, sehr gute Resultate erhalten haben, selbst bei Fallhöhen von 20—1500 Millimetern.

Der Apparat von Hipp ist in Dingler's polyt. Journal 114. Bd. näher beschrieben und abgebildet. Das Echappement des Uhrwerks besteht in einer Feder, deren Spitze die Zähne des Steigrades berührt. Die Axe des vorletzten Rades b, Fig. 336 (es ist dieses ein Stirnrad mit gewöhnlichen Zähnen, um in das Getriebe des Steigrads zu greifen, während die beiden Kronräder e und f spitzige Zähne haben), welches sich in $^1/_{10}$ Secunde dreht, ist durchbohrt, und durch diese Oeffnung ist die Axe cd des Zeigers a gesteckt, welcher sich vor einem in 100 Theile getheilten Zifferblatte befindet und durch ein auf der Außenseite der Uhr befindliches Zwischenrad i, dessen Zähne in ein größeres unter ihm befindliches Rad eingreifen, einen zweiten, in der Zeichnung weggelassenen, Zeiger dreht, der in 10 Secunden umläuft, so daß also 100 Umdrehungen des Zeigers a auf 1 Umdrehung des unteren Zeigers kommen. Auf der Axe des Rades b sitzt das Kronrad e und dreht sich mit ihr; diesem parallel ist das Kronrad f unbeweglich an der Platine der Uhr befestigt; zwischen beiden steckt fest auf der Axe cd der Zeiger gh, und auf die Axe wirkt auf der Seite von d der Anker des Elektromagnets, welcher den Zeiger gh gegen f drückt, so lange der Strom geschlossen ist, wodurch ein Stillstehn des Zeigers a bedingt ist; dagegen aber zieht eine Feder den Zeiger gh gegen e, wenn der Strom nicht geschlossen ist, und während dieser Zeit nimmt er also an der Bewegung Theil.

Fig. 336.

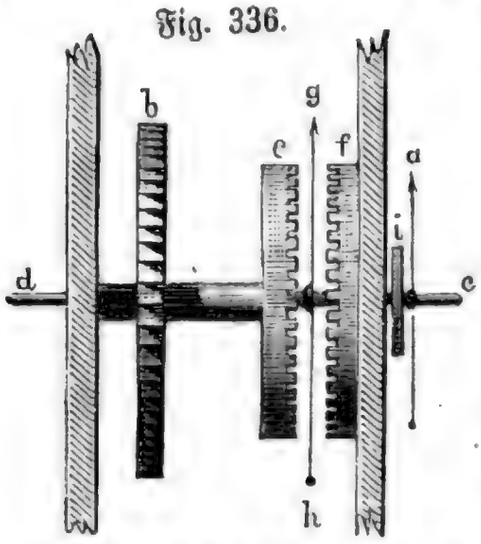
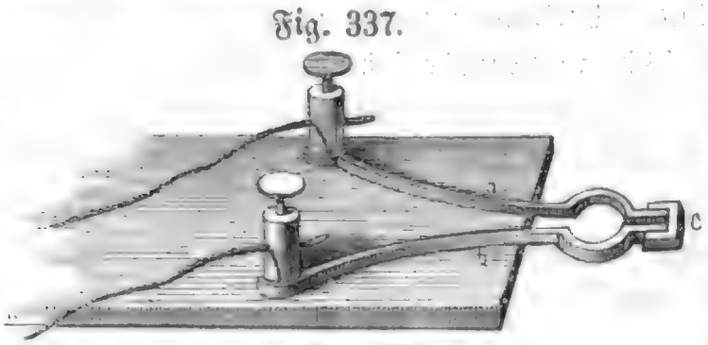


Fig. 337.

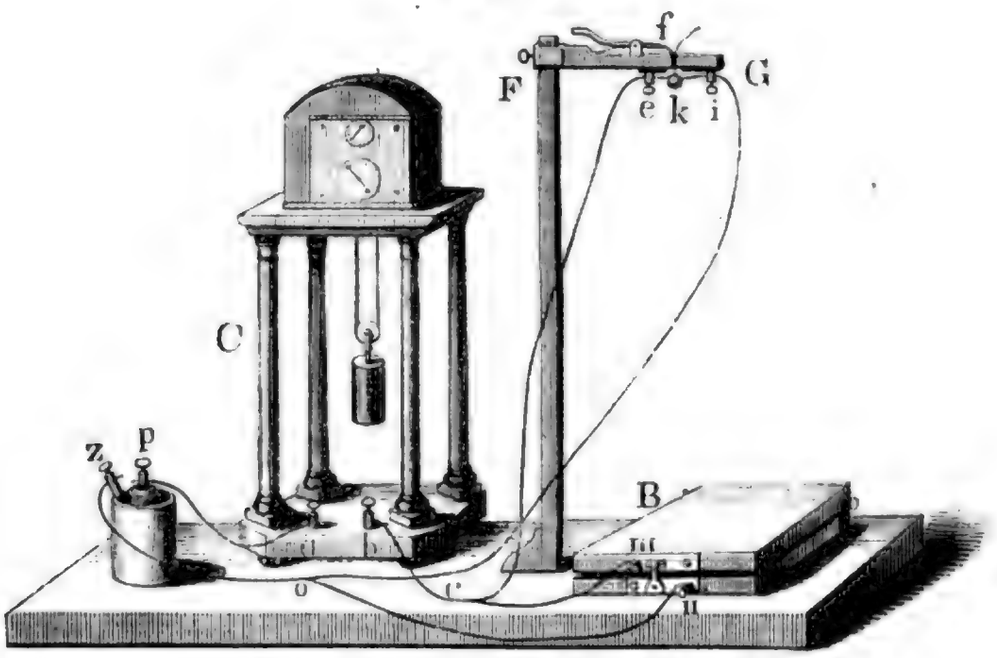


Sollen Fallzeiten gemessen werden, so liegt eine metallene Kugel zwischen den beiden federnden und mit Klemmschrauben versehenen metallenen Armen ab, Fig. 337, und schließt den Strom; zieht man aber die isolirende Klemme c weg, so fällt die Kugel, der Strom ist offen. Die Kugel fällt auf ein Blech a Fig. 338, welches

Fig. 338.

ebenfalls mit einem Pol der Kette verbunden ist und drückt dieses gegen die metallene Strebe *b*, wodurch der Strom wieder geschlossen wird. Man soll, selbst wenn Fallhöhen von 1 Centimeter angewendet werden, keine größeren Abweichungen vom Mittel erhalten als 1 — 2 Tausendstel einer Secunde. Die Fig. 339 zeigt ein solches Chronoskop in seiner Zu-

Fig. 339.



sammenstellung mit Kette und Fallapparat, mit der Abänderung, daß die Kugel *k*, zwischen *e* und *i* durch einen Faden gehalten wird, den ein Druck auf *f* auslöst. Die Kugel fällt auf die Brettchen *B* und stellt durch den Schlag bei *m* und *n* die Verbindung her. *F* ist ein getheilter Stab. Der Preis eines solchen Chronometers nebst Fallapparat ist von Herrn Hipp in Reutlingen auf 88 fl. gestellt. Bemerkt muß übrigens werden, daß, auch in dem oben angeführten Apparate der preußischen Artillerie (Poggend. Ann. 1846) das Uhrwerk schon vorher im Gange war, und der Zeiger nur durch die Wirkung des Stromes mit demselben verbunden wurde.

Mit der Construction solcher Chronoskope beschäftigte sich nach dem Journal de Liège vom 8. Mai 1849 auch Professor Gläsener zu Lüttich. Auch er wendete ein schon im Gange befindliches Uhrwerk an; um jedoch die Fehlerquelle zu vermeiden, welche von der Zeit herrührt, die zur Erregung des Magnetismus in Eisen erforderlich ist, wählte er nur die Unterbrechung der Ströme. Sein Uhrwerk trieb nämlich um eine horizontale Axe eine mit Lampenruß geschwärzte und getheilte Trommel von Metall, über der eine Anzahl stählerner Spitzen in $\frac{1}{2}$ Millimeter Entfernung sich befanden, die an Ankern befestigt waren, von denen jeder durch einen eigenen Elektromagneten angezogen wurde. Durch eine Messingfeder war

dieſe Anziehung ſo regulirt, daß die geringſte Stromverminderung das Abfallen des Ankers bewirkte. Wurde nun durch das Aufſchlagen des Hahns der Strom der erſten, durch das Austreten der Kugel jener der zweiten, in einiger Entfernung jener der dritten Spitze u. ſ. w. unterbrochen, ſo ließen ſich aus der Stelle, wo die Eindrücke der Stahlſpitzen begannen, die Zeiten angeben, welche zu den einzelnen Wegen erforderlich waren. Gläſener hatte ſein Inſtrument nur auf $^1/_{100}$ Secunden getheilt, durch Vergrößerung der Trommel und ihrer Geſchwindigkeit könnte man wohl auch kleinere Theile erhalten.

308 **Geſchwindigkeit der Elektricität.** Die unter der Leitung Walker's angeſtellten Telegraphenbeobachtungen zur Beſtimmung der Längenunterſchiede zwiſchen entfernten Stationen in den Vereinigten Staaten führten zu einem ſehr unerwarteten Reſultate; um nämlich die gehörige Uebereinſtimmung zwiſchen den verſchiedenen Beobachtungen hervorzubringen, mußte eine kleine Correction eingeführt werden, die von der jedesmaligen Entfernung der Telegraphenſtation abhängig war. Es bot ſich hierfür keine andere Erklärung dar, als die von Walker gemachte Annahme (Proc. Am. phil. Soc. V. 76), daß die zur Fortpflanzung der Signale zwiſchen entfernten Stationen nöthige Zeit bedeutend größer, und folglich die Geſchwindigkeit des elektriſchen Stromes oder vielmehr die Geſchwindigkeit der Stromverbreitung, bedeutend geringer iſt, als man bis dahin geglaubt hatte.

Nach den in der Nacht vom 23. Januar 1849 zwiſchen Cambridge und Waſhington angeſtellten Verſuchen berechnete Walker, daß ſich der elektriſche Strom mit einer Geſchwindigkeit von 18,690 engliſchen Meilen in der Secunde fortpflanze.

Eine zweite am 31. October 1849 angeſtellte Verſuchsreihe ergab eine Geſchwindigkeit von 16,000 engliſchen Meilen in der Secunde.

Am 4. Februar 1850 wurde eine dritte Verſuchsreihe vorgenommen, an welcher ſich auch B. A. Gould jun. betheiligte, welcher darüber ausführlich in dem American Journal (2nd series, vol. XI. p. 67, 153) berichtet (Krönig's Journal für Phyſik des Auslandes, Bd. III. p. 1). Die auf den verſchiedenen Stationen aufgeſtellten Telegraphen ſind Morſe'ſche. Die Einrichtung iſt ſo getroffen, daß in der Ruhelage alle Schlüſſel geſchloſſen ſind und alſo ein Strom ununterbrochen in den Leitungsdrähten circulirt.

Nehmen wir nun an, daß am einen Ende einer langen Leitung durch das Pendel einer Uhr bei jeder Schwingung für einen Augenblick der Strom unterbrochen und unmittelbar darauf wieder geſchloſſen wird, ſo

werden die Aufzeichnungen der einzelnen Stationen das Anſehen von Fig. 340 haben.

Fig. 340.

Während nun an einer Endſtation der Telegraphenleitung die Uhr aufgeſtellt iſt, welche in der angegebenen Weiſe ihre Aufzeichnung auf allen Stationen macht, wird auf der andern Endſtation mittelſt des Schlüſſels durch Unterbrechung der Leitung von Zeit zu Zeit ein willkürliches Signal gegeben. Durch dieſes willkürliche Unterbrechen des Stromes wird nun auf allen Stationen in dem entſprechenden Secundenſtrich eine Unterbrechung entſtehen, welche wir die Signalpauſe nennen wollen, während der Zwiſchenraum zwiſchen je zwei Secundenſtrichen die Uhrpauſe genannt werden ſoll.

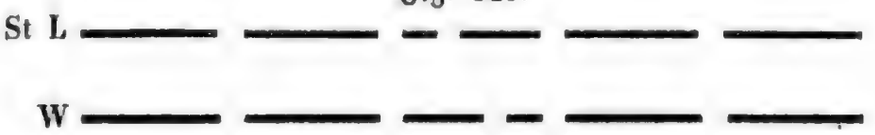
Bei den Verſuchen vom 4. Februar war die Uhr in Waſhington aufgeſtellt, während die willkürlichen Unterbrechungen in St. Louis gemacht wurden.

Um leichter auffinden zu können, welches die entſprechenden Secundenſtriche der verſchiedenen Stationen ſind, war die Einrichtung getroffen, daß zu Anfang jeder Minute eine Uhrpauſe ausblieb.

Wegen des ungleichen Ganges der verſchiedenen Telegraphen fällt nun freilich die Länge der Secundenſtriche, der Uhr- und der Signalpauſen nicht auf allen Stationen ganz gleich aus, es iſt jedoch leicht, ſie auf gleiche Länge zu reduciren.

Es fand ſich nun, daß die Signalpauſe auf den verſchiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entſprechenden Secundenſtriches markirt wurde, in St. Louis lag die Signalpauſe näher am Anfang, in Waſhington lag ſie näher am Ende des Striches, welcher der gleichen Secunde angehört, wie dies Fig. 341 angedeutet iſt.

Fig. 341.



Aus der Differenz in der Lage der Signalpauſen läßt ſich nun auf die Geſchwindigkeit der Stromverbreitung ſchließen.

Es werde in einem beſtimmten Moment, etwa in der Mitte einer Secunde, in St. Louis ein willkürliches Signal gegeben, ſo iſt in dieſem Augenblick noch nicht die Hälfte des entſprechenden Secundenſtriches angekommen, die Signalpauſe wird alſo in St. Louis vor der Mitte des

Secundenstriches aufgezeichnet. In Washington dagegen wird zwar in der Hälfte der Secunde auch die Mitte des Secundenstriches gemacht, allein die von St. Louis kommende Signalpause wird erst später notirt, und so ergiebt sich denn, daß die Differenz von der Mitte der Signalpause in St. Louis bis zur Mitte der entsprechenden Signalpause in Washington das Doppelte der Zeit ist, welche der elektrische Strom braucht, um sich von der einen Endstation bis zur andern fortzupflanzen.

Dasselbe gilt für die Differenzen der Signalpausen der Zwischenstationen.

Die Differenz der Signalpausen wurde natürlich nicht aus einer, sondern als Mittel einer ganzen Reihe von Beobachtungen bestimmt.

Die Drahtlängen zwischen den verschiedenen Stationen waren folgende (nach englischen Meilen):

Washington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1045	757	423	289	St. Louis.

Als die Signale in St. Louis gegeben wurden, ergaben sich folgende Differenzen zwischen den Aufzeichnungen von Washington und den anderen Stationen:

Aufzeichnung.	Zahl der Beobachtungen.	Intervall.	Geschwindigkeit.
Pittsburg	37	0,0373″	15 442 Meilen
Cincinnati	46	0,0844	14 748
Louisville	46	0,1163	12 846
St. Louis	36	0,1108	13 484

Ebenso wurden die Differenzen der Signalpausen bestimmt, als die willkürliche Unterbrechung an den verschiedenen Zwischenstationen gemacht wurden.

Als Mittel aus sämmtlichen an diesem Tage gemachten Beobachtungen ergab sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes gleich 14900 englischen Meilen.

In der folgenden Tabelle ist dies Resultat mit den andern nach der gleichen Methode an verschiedenen Tagen erhaltenen zusammengestellt. Washington war stets die eine Endstation.

Datum.	Endſtation.	Geſchwindigkeit.
23. Januar 1849 . . .	Cambridge	18 000
31. October 1849 . . .	Cincinnati	18 330
4. Februar 1850 . . .	St. Louis	14 900
5. Februar 1850 . . .	Charleston	16 856

Als Mittelwerth ergiebt ſich daraus eine Geſchwindigkeit von 15,890 engliſchen Meilen in der Sekunde.

Nach Wheatſtone's ſinnreichem Verſuch iſt die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Elektricität 288,000 engliſche Meilen in der Secunde, alſo ungefähr 18mal größer, als nach den amerikaniſchen Verſuchen.

Wheatſtone's Leitung war durch Kupferdrähte gebildet, welche 1,7 mm Durchmeſſer hatten, während zur amerikaniſchen Telegraphenleitung Eiſendraht von 3mm Durchmeſſer verwendet worden war. Der ſpecifiſche Leitungswiderſtand des Eiſens iſt 6mal ſo groß als der des Kupfers, dagegen hatten die amerikaniſchen Drähte einen ungefähr dreimal größeren Querſchnitt als jene; bei gleicher Länge war daher der Leitungswiderſtand der amerikaniſchen Leitung nahezu doppelt ſo groß, als beim Wheatſtone'ſchen Verſuch; aus der Ungleichheit des Leitungswiderſtandes läßt ſich alſo der bedeutende Unterſchied der Wheatſtone'ſchen und Walker'ſchen Reſultate nicht zurückführen, man muß alſo wohl annehmen, daß dieſer Unterſchied weſentlich dadurch bedingt iſt, daß das eine Mal mit Reibungselektricität experimentirt wurde, während das andere Mal ein galvaniſcher Strom zur Anwendung kam.

Als durch Einſchaltung einer weiteren galvaniſchen Batterie die elektromotoriſche Kraft vergrößert wurde, ergab ſich kein merklicher Zuwachs in der Geſchwindigkeit; daraus folgt jedoch noch nicht, daß die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Elektricität von der Stromſtärke unabhängig ſey.

Mit dieſen Reſultaten, welche unter den bis jetzt gemachten Beſtimmungen über die Geſchwindigkeit des galvaniſchen Stromes am meiſten Zutrauen zu verdienen ſcheinen, ſtimmen die Reſultate nicht überein, welche Fizeau und Gounelle in den Comptes rendus (t. XXX. p. 439, Pogg. Ann. 80. Bd. p. 158) über dieſen Gegenſtand veröffentlichen. Die Beſchreibung der Methode iſt, wie Gould mit Recht bemerkt, ſehr dunkel, und die Data, aus denen die Folgerungen abgeleitet wurden, ſind nicht vollſtändig mitgetheilt. Den genannten franzöſiſchen Phyſikern zufolge ſoll ſich die Elektricität in einem Eiſendraht von 4mm Durchmeſſer mit einer Geſchwindigkeit von 63,200 Meilen und in einem $2\frac{1}{2}$mm dicken

Kupferdraht mit einer Geschwindigkeit von 110,000 Meilen fortpflanzen. Die Spannung der Elektricität soll keinen Einfluß auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben haben und sie soll sich nicht mit dem Querschnitt des Leitungsdrahtes, sondern nur mit dem Material desselben ändern, ohne jedoch dem specifischen Leitungsvermögen proportional zu seyn.

Nach Mitchel (Pogg. Ann. 80. Bd. p. 161) ist die Fortpflauzungsgeschwindigkeit der Elektricität 28,500 englische Meilen in der Secunde. Die Beschreibung der Beobachtungsmethode ist höchst undeutlich.

Die nächste Zukunft wird uns wohl über diesen eben so wichtigen als interessanten Gegenstand neues Material liefern.

09 **Unipolare Induction.** Es ist eine bekannte Thatsache, daß in allen Fällen, wo durch einen galvanischen Strom, welcher einen geschlossenen Leiter in einer bestimmten Richtung durchläuft, die Rotation eines Magneten bewirkt wird, — umgekehrt, — wenn der Leiter nicht durchströmt ist, man aber den Magneten in derselben Weise durch mechanische Mittel dreht, daß alsdann in dem Leiter ein Strom von entgegengesetzter Richtung inducirt wird. Weber hat nun diese Umkehrung auch für den Fall nachgewiesen, daß die Längenaxe des Magneten selbst die Rotationsaxe ist und daß ein Stück dieser Axe zugleich einen Theil des geschlossenen Leiters ausmacht, wie es bei demjenigen Rotationsversuch der Fall ist, welcher in Figur 227 meines Lehrbuchs der Physik (3. Aufl. 2. Bd. S. 242) dargestellt ist und für welchen Frick in seiner »Physikalischen Technik« Seite 354 eine sehr zweckmäßige Form angiebt.

Der Apparat, welchen Weber anwendet, um durch einen um seine Axe rotirenden Magneten eine Induction hervorzubringen, welche er mit dem Namen der unipolaren Induction bezeichnet, ist Fig. 342 dargestellt. Ein cylindrischer Stahlmagnet, *m*, war an beiden Enden mit Spitzen versehen, welche in kleine Vertiefungen der eisernen Klammern *a* und *b* eingesetzt waren, wie man dies Figur 343 deutlicher sieht. Diese Klammern waren auf das Brett aufgeschraubt, welches den ganzen Apparat trug. — In diese Klammern konnte man zwei große Magnete mit denjenigen Enden einschieben, welche den entgegenstehenden Polen des Magneten *m* entgegengesetzt waren und dadurch den Magnetismus des Stahlcylinders *m* bedeutend erhöhen.

Die Umdrehung des Magneten *m* um seine Axe wurde durch ein Getriebe bewerkstelligt, dessen Einrichtung sich aus der Fig. 342 ergiebt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder $8^4/_7$ Umdrehungen.

Ungefähr auf der Mitte des Stahlcylinders *m* war eine Messingscheibe *s* befestigt, deren unteres Ende in Quecksilber eintauchte, welches sich in dem Gefäße *g* befand.

Wurde nun das eine Drahtende eines Multiplicators in das Queckſilbergefäß *g* getaucht, das andere an der Klammer *b* befeſtigt, ſo wurde die

Fig. 342.

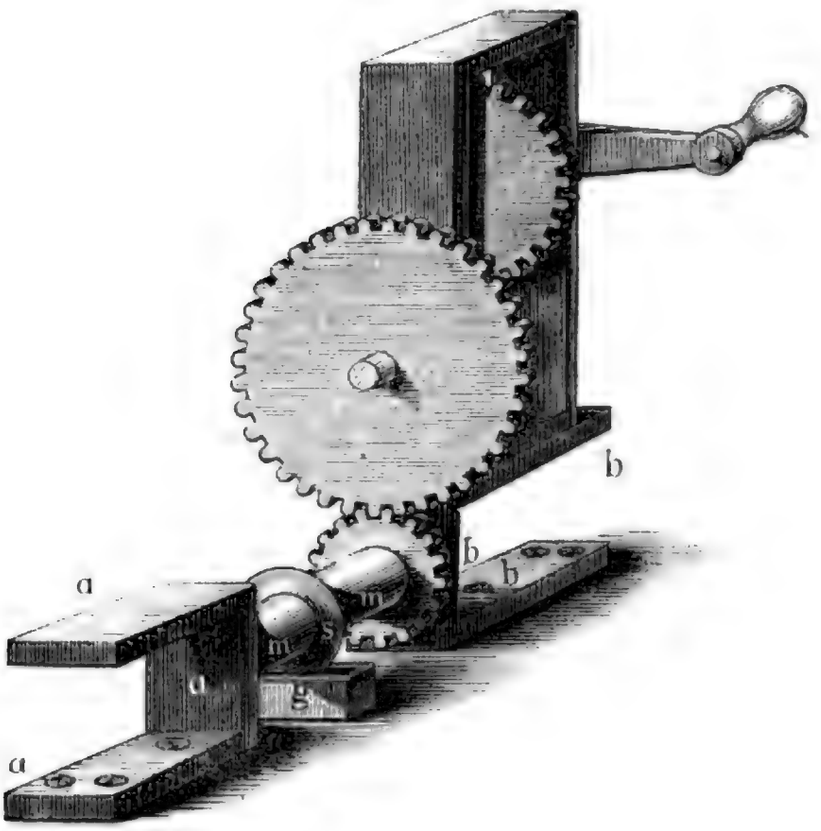
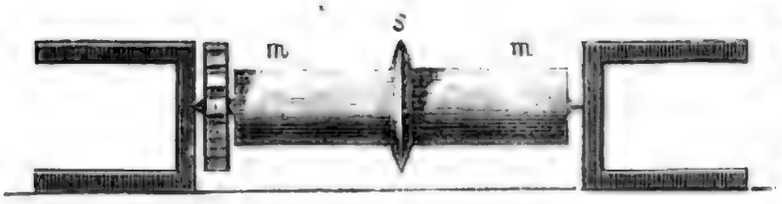


Fig. 343



Multiplicatornadel abgelenkt, ſobald man die Kurbel zu drehen begann.

Als Multiplicator wurde ein transportabeles Magnetometer angewandt, um deſſen Magnetſtab der Multiplicatordraht in 2000 Windungen herumgeführt war. Um die Kraft zu vermindern, mit welcher der Magnetometerſtab im magnetiſchen Meridian zurückgehalten wird, wurde ein 25pfündiger Magnetſtab etwa 2 Meter ſüdlich vom Magnetometer ſo aufgeſtellt, daß ſein Südende nach Norden kehrte; dadurch wurde natürlich die Empfindlichkeit des ſtrommeſſenden Apparates ſehr erhöht.

Die theoretiſche Betrachtung, durch welche Weber nachweiſt, daß in dieſem Fall eine Induction ſtattfinden müſſe und durch welche auch die Benennung »unipolare Induction« gerechtfertigt wird, iſt folgende:

Man nimmt die Exiſtenz zweier magnetiſcher Fluida an, eines nördli-

chen und eines südlichen, welche in den Molekülen eines Magneten in gleicher Menge vorhanden, aber von einander geschieden sind. Wird ein solcher Magnet bewegt, so wird in einem benachbarten Leiter ein galvanischer Strom nach bekannten Gesetzen inducirt. Dieser Strom ist so beschaffen, daß er in zwei Ströme zerlegt werden kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen Fluidums, der andere durch die Bewegung des südlichen Fluidums entsteht. Diese Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider magnetischer Fluida heiße im Allgemeinen eine bipolare Induction. Es ist aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder bloß ein magnetisches Fluidum bewegt wird und also der vom andern Fluidum inducirte Strom stets Null bleibt, oder das andere Fluidum bald positive, bald negative Ströme inducirt, deren Summe Null ist, so daß auch hier bloß derjenige Strom bleibt, welcher vom ersten Fluidum inducirt wird. Diese Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetischen Fluidums heiße eine unipolare Induction.

Man denke sich einen Leiter, welcher die Gestalt eines horizontalen Kreises oder Ringes hat und bewege in der verticalen Axe dieses Ringes einen bloß nördliches Fluidum enthaltenden Körper abwärts, so wird im Ring ein Strom in der Richtung des Pfeils p, Fig. 344, inducirt. Während sich das nordmagnetische Theilchen von oben her der Ringebene nähert, nimmt die Stärke des inducirten Stromes zu, während es sich unterhalb von der Ringebene entfernt, nimmt die Stromstärke ab, ohne daß eine Veränderung in der Stromesrichtung stattfände.

Wird nun der, bloß nördliches Fluidum enthaltende Körper, nachdem er abwärts durch den Ring hindurchgegangen ist, außerhalb des Ringes wieder hinaufgeführt, beschreibt er also eine Bahn, ungefähr wie sie durch

Fig. 344.

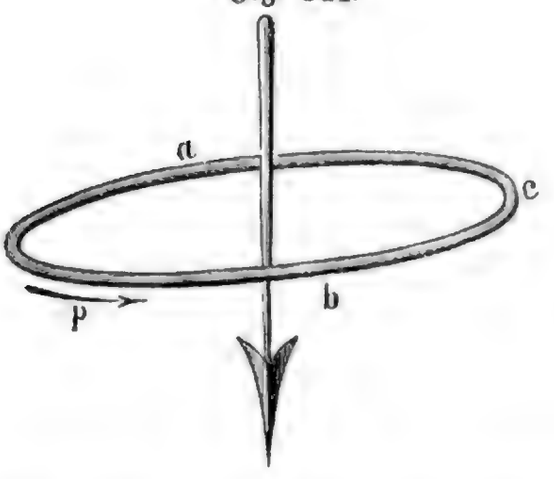
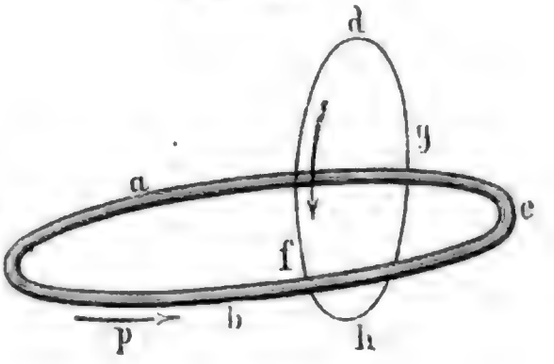


Fig. 345.



den Kreis $dfhg$, Fig. 345, dargestellt ist, so wird er stets einen Strom in gleicher Richtung induciren.

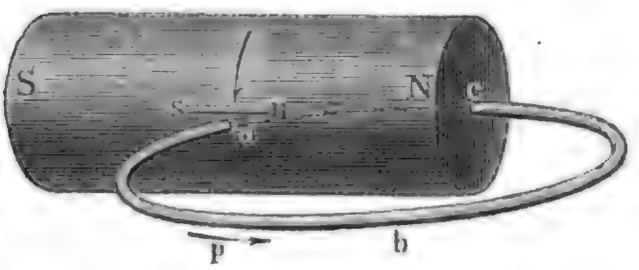
Enthielte der im Kreis $dfhg$ bewegte Körper nur südliches Fluidum, so würde der im horizontalen Leiter inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von der in Fig. 345 angedeuteten seyn.

In der eben angedeuteten Weise können wir freilich keine Induction zu Wege bringen, weil wir keinen Körper darstellen können, in welchem bloß nördliches oder bloß südliches Fluidum vorhanden wäre. — Wenn es aber auch keinen Körper giebt, welcher nur das eine Fluidum enthielte, so sind doch in einem magnetischen Körper die magnetischen Flüssigkeiten räumlich getrennt, und wir können uns ja die Wirkungen eines Magneten nach Außen dadurch hervorgebracht denken, daß das nördliche Fluidum im einen, das südliche im andern Pol des Magnetstabes gesammelt ist. Wir können es nun so einrichten, daß der eine Pol eines Magnetstabes, etwa der Nordpol in der Fig. 345 angedeuteten Weise, halb durch den Ring hindurch, halb um ihn herumgeht, während der andere Pol ganz außerhalb des Schließungsbogens bleibt.

Um ein derartiges Arrangement herzurichten, muß man einen Theil des Magneten selbst in den Schließungsbogen einschalten, wie es der Fall ist, wenn man das eine Ende eines Leitungsdrahtes in der Mitte des einen Poles, das andere Ende an der Seite des Magnetstabes ansetzt, wie es Fig. 346 angedeutet ist, wo NS einen cylindrischen Magnetstab und abc einen Leitungsdraht darstellt, zwischen dessen Enden ein Stück des Magneten eingeschaltet ist.

Man sieht nun leicht ein, daß, wenn bei dieser Anordnung der Magnet um seine Axe rotirt, die einzelnen südmagnetischen Partikelchen in S stets außerhalb des geschlossenen Leiters bleiben, daß sie also keinen bemerkbaren Inductionsstrom in demselben bewirken können, weil der Strom, den sie auf der einen Hälfte ihrer Bahn induciren, demjenigen gleich und entgegengesetzt ist, welchen sie induciren, während sie die andere Hälfte ihrer Bahn durchlaufen. Anders verhält es sich mit den nordmagnetischen Partikelchen in N. Sie bewegen sich in Beziehung auf den Schließungsbogen gerade so, wie es in dem Fig. 345 dargestellten Falle angenommen wurde; die nordmagnetischen Partikelchen in N induciren also in der Richtung des Pfeiles p einen continuirlichen Strom, wenn der Magnet in der angegebenen Richtung rotirt.

Fig. 346.



Hier inducirt also der Nordpol einen Strom, während der Südpol des

Magneten keine entsprechende Induction bewirken kann, daher der Name der unipolaren Induction.

Wir haben hier freilich angenommen, daß alles nordmagnetische Fluidum in N, alles südliche in S concentrirt sey, was in der That nicht der Fall ist, indem sich in der ganzen Länge des Magnetstabes noch magnetische Partikeln vorfinden. Was aber für den ganzen Magneten gesagt wurde, gilt ebenso für die einzelnen magnetischen Partikelchen. Denken wir uns ein magnetisches Partikelchen $n\,s$, dessen Mittelpunkt bei seiner Rotation gerade den Punkt passirt, an welchem der Draht den Stahlcylinder berührt, so wird während der Rotation des Cylinders n durch den Ring hindurchgehn, s aber außerhalb desselben bleiben, also blos n einen continuirlichen, stets gleichgerichteten Strom induciren; so giebt es für jeden Punkt des Schließungsbogens innerhalb des Stahlcylinders eine Reihe von magnetischen Partikelchen, welche bei der Rotation mit ihrem einen Pole durch den Schließungsbogen hindurchgehn, mit dem andern aber blos außerhalb desselben sich bewegen.

Man übersieht nun auch leicht, daß der Apparat Fig. 342 die Ausführung der Fig. 346 schematisch dargestellten Anordnung ist.

Aus den oben angestellten Betrachtungen ergeben sich nun in Beziehung auf den unipolaren Inductionsstrom noch folgende Gesetze.

Die Induction ist unabhängig von der Länge des Cylinders, vorausgesetzt, daß alle seine Theilchen gleich stark magnetisch sind, sie ist aber unter sonst gleichen Umständen dem Querschnitt des Cylinders proportional.

In den oben beschriebenen Apparat wurde ein Stahlcylinder von 269^{mm} Länge und 23^{mm} Durchmesser eingeschaltet, dessen magnetisches Moment nach absolutem Maaß 65,000,000 beträgt. Seine Pole wurden durch magnetische Vorlagen verstärkt. Als nun die Kurbel so gedreht wurde, daß der Magnet 60 Umdrehungen in 7 Secunden machte, wurde der Magnetometerstab so aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, daß seiner neuen Gleichgewichtslage der Theilstrich 622,5 der Magnetometerscale entsprach. Nun wurde mit gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung gedreht und nun entsprach der Theilstrich 736,5 der Gleichgewichtslage. Die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung aus dem magnetischen Meridian betrug also in diesem Falle

$$\frac{736{,}5 - 622{,}5}{2} = 57$$

Theilstriche. Als halb so schnell gedreht wurde, war auch die durch den unipolaren Inductionsstrom hervorgebrachte Ablenkung nur halb so groß.

Der Versuch bestätigte das in der Weber'schen Theorie enthaltene Gesetz in Beziehung auf die Richtung des unipolar inducirten Stromes;

auch die Stärke deſſelben ſtimmte, ſo weit es ſich bei ſolchen Verſuchen erwarten läßt, mit den theoretiſchen Beſtimmungen Weber's überein.

Die Erſcheinung der unipolaren Induction erhält eine beſondere Wichtigkeit bei Beantwortung der Frage, ob den beiden magnetiſchen Fluidis eine phyſiſche Exiſtenz zugeſchrieben werden müſſe, oder ob überall ſtatt ihrer die Annahme fortdauernder galvaniſcher Ströme im Innern der Magnete zuläſſig ſey. — Zur Erklärung der unipolaren Induction ſcheint die letztere Annahme nicht zu genügen, während die Annahme von der phyſiſchen Exiſtenz zweier magnetiſcher Fluida nicht allein jene Erklärung zu geben ſcheint, ſondern auch zuerſt auf die Betrachtung dieſer Erſcheinung geführt hat. Ebenſo läßt ſich der Rotationsverſuch, durch deſſen Umkehrung die unipolare Induction erhalten wird, ſehr wohl durch die Annahme magnetiſcher räumlich getrennter Fluida, aber nicht durch die Ampériſchen Ströme erklären. (Gauß und Weber, Reſultate des magnetiſchen Vereins im Jahre 1839, Seite 63.)

Berichtigungen.

Seite 46 Zeile 10 v. U. ist zu lesen Poisson's statt Prisson's.
» 74 » 2 v. U. l. schärfer statt schiefer.
» 123 » 15 v. O. l. kennt statt kommt.
» 201 Die Figur 75 ist umzukehren.
» 238 Die ganze Stelle von »Hier mögte sich aber u. s. w.« Zeile 8 v. O. bis »lasse ich freilich dahin gestellt sein« Seite 239 Zeile 17 v. O. ist ganz wegzustreichen.

Von dem Wunsche erfüllt, wo möglich eine Ausgleichung zwischen den streitenden Theorien anzubahnen, habe ich mir hier eine Uebereilung zu schulden kommen lassen, indem ich es ganz übersehen habe, daß das elektrische Verhalten des Zinks gegen Wasser und verdünnte Schwefelsäure längst ermittelt ist. Es ist eine bekannte Thatsache, daß Zink in Berührung mit Wasser und verdünnter Schwefelsäure negativ elektrisch wird, daß also das hervorragende Ende eines in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure eingetauchten Zinkstücks freie negative Elektricität zeigen muß.

Ich hätte dies um so eher wissen können, als dieser Gegenstand in meinem Lehrbuch der Physik ausfürlich besprochen wird.

Durch diese Thatsache fällt nun freilich der ganze Ausgleichungsversuch von Seite 238 in sich zusammen.

Die Contacttheorie nimmt bei der Theorie der Säule das elektromotorische Verhalten der Metalle gegen Flüssigkeiten (Elektrolyte) als eine Thatsache an, von welcher meines Wissens bis jetzt noch keine weitere Begründung versucht worden ist.

Die Anhänger der chemischen Theorie dagegen haben die elektrische Erregung der verschiedenen Metalle bei Berührung mit Flüssigkeiten aus der chemischen Verwandtschaft der Metalle zu den Bestandtheilen der Elektrolyte herzuleiten versucht, wie wir es S. 230 u. f. gesehen haben, wobei sie sich aber zu der Annahme genöthigt sahen, daß eine ähnliche Polarisation, wie sie in den Wassertheilchen zwischen den Elektroden stattfindet, sich auch in den Theilchen eines in die Flüssigkeit eingetauchten Metallstückes fortsetzt, so daß sich das Metall gewissermaßen in Schichten von abwechselnd positiven und negativen Molekeln abtheilt. Es dürfte jedoch schwer halten, einen experimentellen Beweis für die Existenz eines solchen Polarisationszustandes in den Metallen beizubringen.

Seite 251 Zeile 1 v. O. lese 237mm anstatt 233mm.
» 252 » 12 v. O. l. 2,2083 statt 22,083.
» — » 13 v. O. l. 2,21 statt 22,1
» 292 » 13 v. U. l. $a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} + \frac{s}{r}$, statt $a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} = \frac{s}{r}$,
» 306 » 7 v. O. soll heißen $w = s\frac{l.0{,}785}{\pi r^2} = s\,\frac{l}{d^2}$.
» 423 » 8 v. U. l. Magnetelektromotor statt Magnetelektrometer.
» 511—514 Hier haben sich in die Zahlenwerthe mehrere so störende Fehler eingeschlichen, daß für diese beiden Blätter ein Carton gedruckt werden mußte.
» 517 Den Factoren von d^2 in den beiden Werthen von P ist ein o anzuhängen. In Folge dessen heißt auch auf
» 518 der Werth von P:

$$P = \frac{12558}{l}\, d^{3/2}\ \text{tang}\ \frac{M}{1720\, ld^2}$$

» 548 » 16 v. U. soll heißen pr. Secunde anstatt pr. Stunde.
» 672 Die beiden Zeilen 5 und 4 v. U. sollen heißen:

Winkel $A\alpha\alpha' = \Theta'$
Winkel $A\alpha n = \Theta$.

» 674 » 16 u. 17 v. U. sollen heißen:

$\cos.\varphi = \cos.\Theta$
$\cos.\Theta' = -\sin.\Theta$.

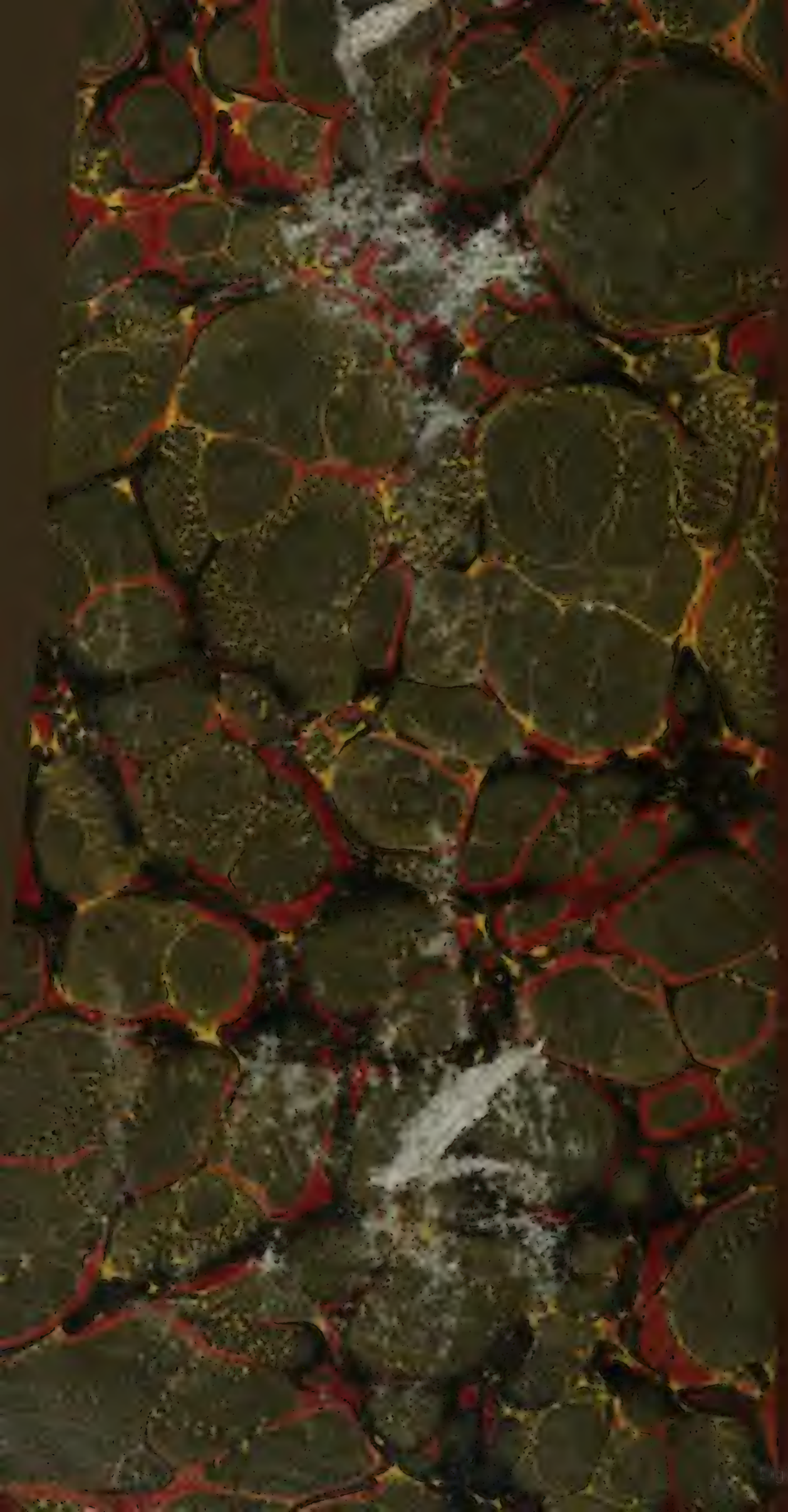
» — » 10 v. U. ist zu setzen $\cos.\Theta' = \sin.\Theta$ für $\cos.\Theta' = -\sin.\Theta$.

Digitized by Google

Digitized by Google

Österreichische Nationalbibliothek
+Z174887308

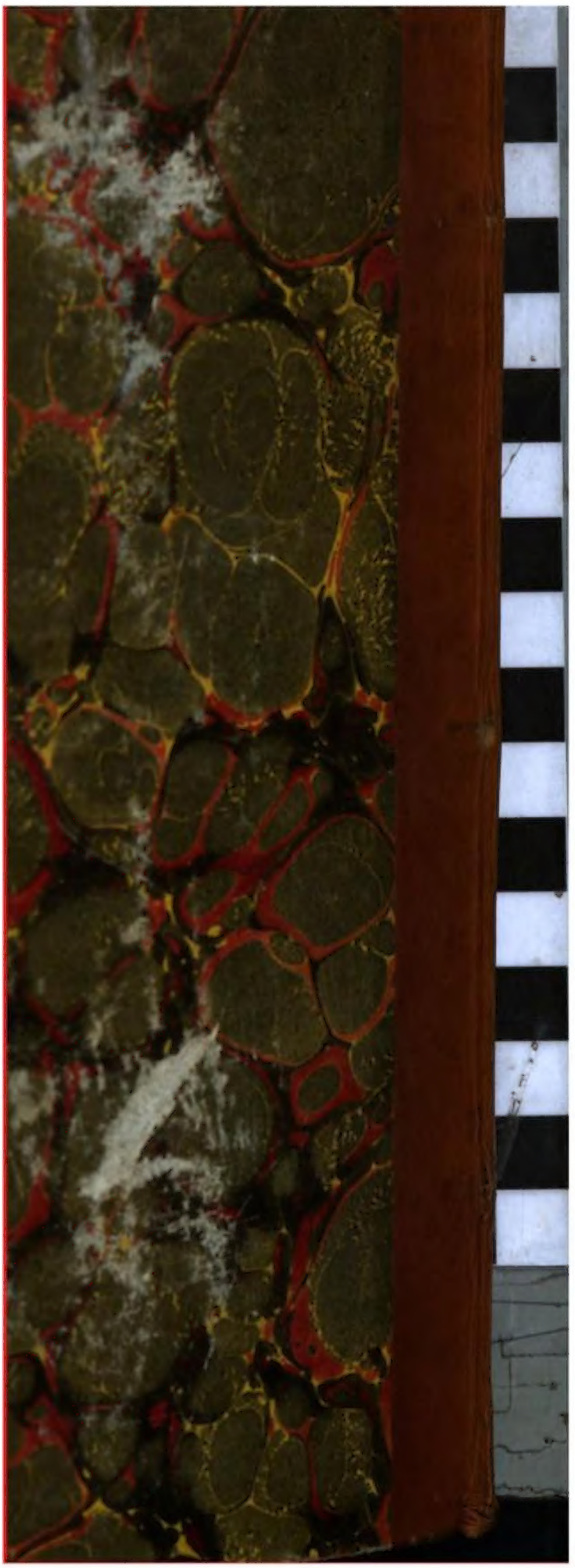
Fr. Hollnsteiner,
bei
Buchbinder
im rothen Haus
IN WIEN.


Digitized by Google

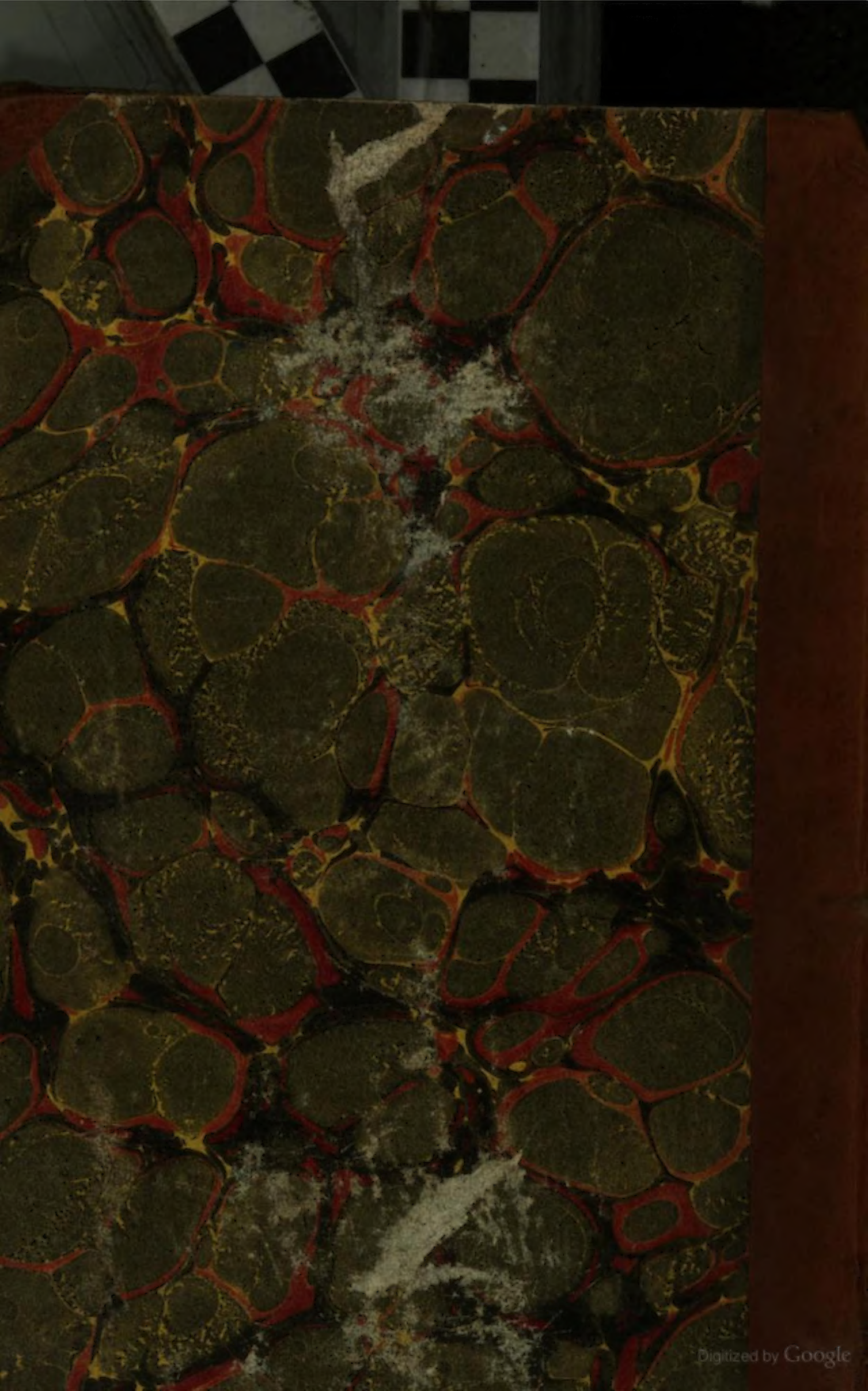
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google


Digitized by Google